

Tânia Cristina Rodrigues Soares

Termografia na avaliação do desempenho higratérmico
de edifícios - análises de sensibilidade



Tânia Cristina Rodrigues Soares

Termografia na avaliação do desempenho
higrotérmico de edifícios - análises de sensibilidade

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Doutor Ricardo M. S.F. Almeida



RESUMO

A crescente utilização da termografia de infravermelhos na construção civil está intrinsecamente relacionada com o facto de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo-lhe apresentar-se como uma ótima ferramenta de diagnóstico, utilizada na manutenção e na reabilitação, possibilitando desenvolver estudos relacionados com o desempenho térmico dos elementos construtivos, assim como identificar anomalias construtivas e áreas degradadas.

Neste trabalho abordam-se os princípios fundamentais da termografia de infravermelhos, os seus procedimentos, as suas principais vantagens e desvantagens, bem como as suas aplicações em diversas áreas, assim como os principais fatores que influenciam as medições aquando da utilização desta técnica.

A elaboração desta dissertação incidiu essencialmente na realização de duas campanhas experimentais, uma com o intuito de avaliar o processo de secagem e outra com o intuito de efetuar uma análise de sensibilidade. A avaliação do processo de secagem consistiu na utilização da câmara termográfica e do humidímetro, para monitorizar a evolução da secagem de quatro fachadas de um edifício, recorrendo à captação de termogramas “dinâmicos” e ao registo de leituras efetuadas com o humidímetro, ao longo de cinco períodos do dia, durante seis dias. Os resultados termográficos foram comparados com os do humidímetro, permitindo avaliar qualitativamente a evolução da secagem dos elementos construtivos. A análise de sensibilidade consistiu na utilização de três equipamentos de medição de temperaturas superficiais, sendo eles a câmara termográfica, o termómetro de infravermelhos e termopares do tipo T, com o objetivo de comparar o valor de temperatura por eles obtidos quando sujeitos a diferentes condições de ensaio.

ABSTRACT

The increasing use of infrared thermography in construction is intrinsically related to the fact that it is a non-destructive testing. Therefore, it can be used as a diagnostic tool, both for maintenance and rehabilitation, enabling studies related to the thermal behavior of construction elements as well as to identify anomalies and degraded areas of a building.

In this research the fundamental principles of infrared thermography are discussed, including their procedures, their main advantages and disadvantages, as well as its applications in different areas. The main factors that can influence the measurements are also discussed.

This dissertation focused on conducting two experimental campaigns, one to evaluate the drying process and the other to perform a sensitivity analysis. The evaluation of the drying process was based on the use of infrared thermography and a moisture meter, and monitoring the drying progress of four façades of a building. For that "dynamic" thermograms were captured and moisture measured over five periods of the day, for six days. Thermal imaging results were compared with those of the moisture meter, allowing a qualitative assessment of the drying process. The sensitivity analysis was developed using three different devices to measure surface temperatures, namely the thermal camera, the infrared thermometer and type T thermocouples. The aim was to compare the surface temperature determined by each device when subjected to different conditions.

PALAVRAS CHAVE

Análise de sensibilidade
Secagem
Temperatura superficial
Termografia de infravermelhos

KEY WORDS

Sensitivity analysis
Drying process
Surface temperature
Infrared thermography

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível devido à contribuição e ao apoio prestados por um conjunto significativo de pessoas, às quais desejo manifestar o meu profundo e sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, por todo o apoio prestado, pelo incentivo, paciência, compreensão, dedicação e pela partilha de conhecimentos e sugestões.

Ao Engenheiro Carlos Silva, pela disponibilização do equipamento que possibilitou a realização dos ensaios termográficos.

À Diana Almeida, bolsista de investigação no IPV, quero agradecer toda a prontidão e disponibilidade na cedência dos termopares, assim como na orientação da sua utilização, pois sem eles não era possível desenvolver uma parte deste trabalho.

Ao Engenheiro António Oliveira, por ter facultado os dados referentes à temperatura atmosférica e humidade relativa do ar, durante a realização dos ensaios no exterior.

À minha família, desejo um agradecimento muito especial, fundamentalmente aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio e incentivo prestado, pois sem eles nada disto teria sido possível.

Ao Rafael agradeço todo o apoio, pelas palavras de incentivo, pela confiança e acima de tudo pela paciência e força transmitida em todos os momentos.

A todos os meus colegas e amigos que me acompanharam ao longo do percurso académico, fundamentalmente aquando do desenvolvimento desta dissertação, a todos eles um muito obrigada!

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE QUADROS	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivo do trabalho	1
1.3 Organização e estrutura do trabalho	2
2. Princípios da termografia.....	5
2.1 História da termografia	5
2.2 Princípios físicos.....	7
2.2.1 Espectro eletromagnético e radiação infravermelha	7
2.2.2 Radiação do corpo negro	8
2.2.3 Radiação do corpo não negro	10
2.2.4 Emissividade.....	11
2.3 Análise qualitativa vs. análise quantitativa.....	14
2.4 Termografia ativa vs. termografia passiva.....	15
2.5 Vantagens e desvantagens da termografia	15
3. Aplicações e incerteza da termografia em edifícios	19
3.1 Aplicações da termografia	19
3.1.1 Aplicações em edifícios.....	19
3.1.2 Outras aplicações.....	26
3.2 Erros e incertezas que influenciam as medições.....	33
4. Estudo da secagem.....	35
4.1 Considerações iniciais.....	35
4.2 Materiais/equipamentos	35
4.3 Metodologia	37
4.4 Casos de estudo.....	39

4.4.1	Caso 1.....	39
4.4.2	Caso 2.....	44
4.4.3	Caso 3.....	48
4.4.4	Caso 4.....	52
4.5	Considerações finais.....	56
5.	Análise de sensibilidade.....	57
5.1	Considerações iniciais	57
5.2	Materiais/equipamentos.....	57
5.3	Metodologia.....	59
5.4	Casos de estudo <i>in situ</i>	60
5.4.1	Caso 1.....	60
5.4.2	Caso 2.....	64
5.4.3	Caso 3.....	68
5.4.4	Caso 4.....	72
5.5	Casos de estudo em laboratório.....	78
5.5.1	Caso 5.....	79
5.5.2	Caso 6.....	82
5.5.3	Caso 7.....	85
5.5.4	Caso 8.....	88
5.6	Considerações finais.....	91
6.	Conclusões	93
6.1	Conclusões gerais	93
6.2	Desenvolvimentos futuros.....	95
	Referências.....	97
	Apêndice 1- Estudo da secagem	101
	Apêndice 2- Análise de sensibilidade	107
	Anexo 1- Câmara termográfica ThermaCAM E300.....	117
	Anexo 2- Humidímetro Tramex MRH III.....	119
	Anexo 3- Termómetro de infravermelhos Fluke 561.....	121
	Anexo 4- <i>Data logger's</i> Pico TC-08.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Imagem visual e térmica da fachada de um edifício (ArchiTecno, s.d.)	5
Figura 2-2: Experiência efetuada por Herschel (adaptado de Apiste Corporation, s.d.).....	6
Figura 2-3: Espectro eletromagnético (Infratemp, 2010).....	7
Figura 2-4: Espectro visível e dos infravermelhos (adaptado de Gaussorgues, 1999).....	8
Figura 2-5: Radiação do corpo negro em função da temperatura e do comprimento de onda (Craveiro, 2008)	9
Figura 2-6: Comportamento da radiação de um corpo não negro (Sousa, 2010).....	10
Figura 2-7: Variação da emissividade em função do comprimento de onda, para diferentes materiais (Gaussorgues, 1999)	11
Figura 2-8: Variação da emissividade com a temperatura para o níquel (1), Tungsténio (2) e platina (3) (Gaussorgues, 1999).....	13
Figura 2-9: Variação da emissividade com a temperatura para borracha (1), porcelana (2), cortiça (3), papel (4) e argila refratária (5) (Gaussorgues, 1999).....	14
Figura 3-1: Diferença de intensidade da radiação infravermelha, provocada por diferentes emissividades (Mateus, 2013)	22
Figura 3-2: Comparação das imagens térmicas realizadas à noite e ao amanhecer. (a) Imagem térmica do edifício tradicional, à noite; (b) imagem térmica do edifício moderno, à noite; (c) imagem térmica do edifício tradicional ao amanhecer; (d) imagem térmica do edifício moderno ao amanhecer (Ocaña <i>et al.</i> , 2004).....	23
Figura 3-3: Identificação de áreas secas e húmidas, sobreposta à imagem real (adaptado de Lerma <i>et al.</i> , 2011)	24
Figura 3-4: Termogramas efetuados após 1 minuto de contacto (Barreira 2004).....	25
Figura 3-5: Termogramas de um provete de betão autoclavado com emissividades diferentes (Barreira e Freitas, 2007).....	25
Figura 3-6: Termogramas aplicados na medicina humana e medicina veterinária. a) Detecção do cancro da mama (Oliveira, 2013); b) Imagem térmica de uma cabra (IPAC).....	26
Figura 3-7: A termografia aplicada na astronomia e na exploração espacial (IPAC)	27
Figura 3-8: Imagem real e térmica, referente a atividade vulcânica (IPAC).....	27
Figura 3-9: Monitorização citadina e ambiental com recurso a infravermelhos (IPAC)	28
Figura 3-10: Mapa global das temperaturas superficiais dos oceanos (IPAC).....	28
Figura 3-11: Imagem de infravermelhos do ciclone tropical Ian (NOAA)	29
Figura 3-12: Aplicação de infravermelhos na história e na arqueologia. a) Detecção de textos invisíveis de manuscritos antigos; b) Detecção de uma estrada arqueológica (IPAC)	29
Figura 3-13: Termogramas de componentes mecânicos (Fraga <i>et al.</i> , 2009).....	30
Figura 3-14: Imagens térmicas de componentes eletrónicos (Fraga <i>et al.</i> , 2009).....	30
Figura 3-15: Termogramas utilizados para controlo do processo de fabrico (Fraga <i>et al.</i> , 2009)	31

Figura 3-16: Termogramas aplicados na manutenção de elementos de energias renováveis (Flir, 2011)	31
Figura 3-17: Imagens térmicas referentes a identificação de alvos, em ação militar (MRA Instrumentação, s.d.)	32
Figura 3-18: Imagens térmicas obtidas em ações de salvamento (IPAC).....	32
Figura 4-1: Câmara termográfica utilizada. a) Câmara termográfica utilizada; b) Posicionamento da câmara termográfica durante os ensaios experimentais.....	36
Figura 4-2: Humidímetro utilizado nas medições.....	36
Figura 4-3: Diferentes fases para determinar a temperatura refletida de uma amostra	38
Figura 4-4: Posição do humidímetro durante as duas fases de leituras. a) Humidímetro de contacto; b) Humidímetro com sondas	38
Figura 4-5: Planta da ESTGV com o enquadramento das paredes em estudo.....	39
Figura 4-6: Parede do caso 1 e respetivos pontos para a leitura da humidade.....	40
Figura 4-7: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 1, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”	41
Figura 4-8: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 1, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas	41
Figura 4-9: Parede do caso 2 e respetivos pontos para a leitura da humidade.....	44
Figura 4-10: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 2, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”	45
Figura 4-11: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 2, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas	45
Figura 4-12: Parede do caso 3 e respetivos pontos para a leitura da humidade.....	48
Figura 4-13: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 3, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”	49
Figura 4-14: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 3, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas	49
Figura 4-15: Parede do caso 4 e respetivos pontos para a leitura da humidade.....	52
Figura 4-16: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 4, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”	53
Figura 4-17: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 4, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas	53
Figura 5-1: Termómetro infravermelho utilizado	58
Figura 5-2: <i>Data logger's</i> utilizados nas medições. a) <i>Data logger</i> TC-08 com interface RS232; b) <i>Data logger</i> TC-08 com interface USB.....	59
Figura 5-3: Materiais em estudo no caso 1	61
Figura 5-4: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 1	64
Figura 5-5: Materiais em estudo no caso 2	65
Figura 5-6: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 2	68

Figura 5-7: Materiais em estudo no caso 3.....	68
Figura 5-8: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 3.....	72
Figura 5-9: Materiais em estudo no caso 4. a) Numeração dos diferentes materiais; b) Diferentes ângulos de realização dos ensaios termográficos.....	73
Figura 5-10: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m (medição α_1), nos termogramas do caso 4	77
Figura 5-11: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m (medição α_2), nos termogramas do caso 4	78
Figura 5-12: Disposição dos diferentes materiais em estudo	78
Figura 5-13: Materiais em estudo no caso 5.....	79
Figura 5-14: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 5.....	82
Figura 5-15: Materiais em estudo no caso 6.....	82
Figura 5-16: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 6.....	85
Figura 5-17: Materiais em estudo no caso 7.....	85
Figura 5-18: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 7.....	88
Figura 5-19: Materiais em estudo no caso 8.....	88
Figura 5-20: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 8.....	91

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Valores típicos dos diferentes parâmetros, em função do comprimento de onda, para determinados corpos	11
Quadro 4-1: Condições climatéricas, referentes a cada dia de ensaio.....	39
Quadro 4-2: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 1	42
Quadro 4-3: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 4, 5 e 6 do caso 1	43
Quadro 4-4: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 2	46
Quadro 4-5: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 4, 5 e 6 do caso 2	47
Quadro 4-6: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 3	50
Quadro 4-7: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 4, 5 e 6 do caso 3	51
Quadro 4-8: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 4	54
Quadro 4-9: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 4, 5 e 6 do caso 4	55
Quadro 5-1: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 1 ..	61
Quadro 5-2: Termogramas relativos ao caso 1, para as três situações de ensaio	62
Quadro 5-3: Resultados das medições efetuadas no caso 1	63
Quadro 5-4: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 2 ..	65
Quadro 5-5: Termogramas relativos ao caso 2, para as três situações de ensaio	66
Quadro 5-6: Resultados das medições efetuadas no caso 2	67
Quadro 5-7: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 3 ..	69
Quadro 5-8: Termogramas relativos ao caso 3, para as três situações de ensaio	70
Quadro 5-9: Resultados das medições efetuadas no caso 3	71
Quadro 5-10: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição α_1 (*) e α_2 (#) no caso 4	73
Quadro 5-11: Termogramas relativos ao caso 4, para as três situações de ensaio e ângulo α_1 ..	74
Quadro 5-12: Termogramas relativos ao caso 4, para as três situações de ensaio e ângulo α_2 ..	75
Quadro 5-13: Resultados das medições efetuadas para o caso 4.....	76
Quadro 5-14: Parâmetros utilizados nos termogramas dos quatro casos de estudo.....	79
Quadro 5-15: Valores da emissividade para os materiais do caso 5	79
Quadro 5-16: Termogramas relativos ao caso 5, para as três situações de ensaio	80
Quadro 5-17: Resultados das medições efetuadas para o caso 5.....	81
Quadro 5-18: Valores da emissividade para os materiais do caso 6	83
Quadro 5-19: Termogramas relativos ao caso 6, para as três situações de ensaio	83
Quadro 5-20: Resultados das medições efetuadas para o caso 6.....	84
Quadro 5-21: Valores da emissividade para os materiais do caso 7	86
Quadro 5-22: Termogramas relativos ao caso 7, para as três situações de ensaio	86
Quadro 5-23: Resultados das medições efetuadas para o caso 7.....	87
Quadro 5-24: Valores da emissividade para os materiais do caso 8	88
Quadro 5-25: Termogramas relativos ao caso 8, para as três situações de ensaio	89

Quadro 5-26: Resultados das medições efetuadas para o caso 8	90
--	----

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

A crescente utilização da termografia de infravermelhos na construção civil está intrinsecamente relacionada com o facto de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo-lhe apresentar-se como uma ótima ferramenta de diagnóstico. Pode ser utilizada nas mais diversas áreas, incluindo a manutenção e a reabilitação, possibilitando desenvolver estudos relacionados com o desempenho térmico dos elementos construtivos, assim como identificar anomalias e patologias construtivas.

Os ensaios termográficos permitem a obtenção de imagens térmicas, que quando havendo variações de temperatura, podem indicar a presença de anomalias do objeto em estudo.

Os termogramas podem ser analisados de forma qualitativa ou quantitativa, consoante o objetivo que se pretende do ensaio. Isto é, se apenas se pretende avaliar as diferenças de cores nos termogramas, opta-se pela análise qualitativa, mas se o objetivo passa por quantificar as variações de temperatura superficial da superfície em estudo, deverá optar-se por uma análise quantitativa. Neste caso é necessário a introdução de parâmetros ambientais.

1.2 Objetivo do trabalho

Neste trabalho de investigação foram realizadas duas campanhas experimentais distintas, consistindo a primeira no estudo da secagem de algumas fachadas e a segunda numa análise de sensibilidade das temperaturas superficiais de diferentes materiais.

A primeira campanha experimental teve como principal objetivo monitorizar a evolução da secagem de quatro paredes, ao longo de seis dias consecutivos, em cinco momentos diferentes do dia, recorrendo a uma câmara termográfica e a um humidímetro. No final, foi efetuada uma análise qualitativa dos resultados, através da comparação dos termogramas obtidos com os valores obtidos com o humidímetro.

A segunda campanha experimental consistiu em medir a temperatura superficial de diferentes revestimentos, situados no exterior, utilizando para tal um termómetro de infravermelhos, termopares do tipo T e uma câmara termográfica, com o intuito de se comparar os valores por eles obtidos, em três situações de diferentes luminosidades do dia e fazendo variar a distância entre a câmara termográfica e o material em estudo, permitindo assim compreender qual a influência que cada um dos fatores pode provocar nas medições. Por fim, reaproveitando os termogramas obtidos para cada caso de estudo, e utilizando o *software* FLIR QuickReport 1.2, procedeu-se à variação dos valores da emissividade, para avaliar qual a influência desta nas temperaturas superficiais.

1.3 Organização e estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 6 capítulos distintos:

- No capítulo 1 é apresentado o trabalho desenvolvido, mostrando o seu enquadramento geral assim como os principais objetivos a alcançar.
- No capítulo 2 descrevem-se os principais princípios físicos relativos à radiação infravermelha, nomeadamente os conceitos gerais e as principais vantagens e desvantagens da utilização da termografia de infravermelhos.
- No capítulo 3 são apresentadas as principais aplicações da termografia, dividindo-as em duas partes. A primeira parte baseou-se numa revisão bibliográfica, através de uma análise aos trabalhos realizados por outros autores, evidenciando-se as principais aplicações da termografia nos edifícios. Na segunda parte são apresentadas as aplicações da termografia em outras áreas do nosso quotidiano. Por fim, apresentam-se os principais erros e incertezas que podem influenciar as medições termográficas.
- No capítulo 4, de carácter experimental, é possível observar uma série de casos de estudo, onde se pode verificar a evolução da secagem de fachadas após um longo período de chuva, através da comparação de termogramas com as leituras tiradas através de um humidímetro.
- No capítulo 5, de carácter experimental, são efetuadas análises de sensibilidade recorrendo a uma série de medições de temperaturas superficiais a revestimentos de diferentes materiais, recorrendo a uma câmara termográfica, termopares e a um termómetro de infravermelhos. Realizando-se também variações dos valores da emissividade para melhor se compreender a influência que esta provoca nas temperaturas.

- Por último, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões retiradas do presente trabalho, assim como algumas considerações para eventuais trabalhos futuros.

São ainda apresentados dois apêndices:

- Apêndice 1- Estudo da secagem
- Apêndice 2- Análise de sensibilidade

E quatro anexos referentes às especificações técnicas dos equipamentos utilizados:

- Anexo 1- Câmara termográfica ThermaCAM E300
- Anexo 2- Humidímetro Tramex MRH III
- Anexo 3- Termómetro de infravermelhos Fluke 561
- Anexo 4- Data logger's Pico TC-08

2. Princípios da termografia

2.1 História da termografia

A termografia de infravermelhos é uma técnica de ensaio não destrutiva, que consiste na captação de imagens térmicas, invisíveis ao olho humano, através de uma câmara termográfica. As imagens térmicas são designadas de termogramas e neles é possível identificar as diferentes temperaturas superficiais em qualquer material (Figura 2-1).

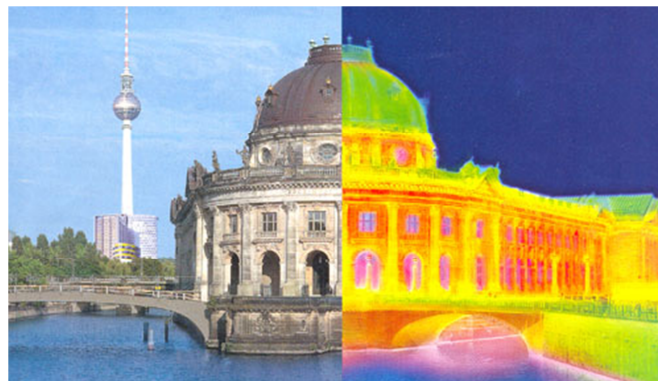


Figura 2-1: Imagem visual e térmica da fachada de um edifício (ArchiTecno, s.d.)

A descoberta da radiação infravermelha foi feita pelo astrónomo Sir Frederic William Herschel, no ano de 1800. Esta descoberta ocorreu de forma acidental, quando este se preparava para observar o sol através de filtros coloridos, pretendendo quantificar a quantidade de calor que passava através deles, assim como descobrir qual dessas cores era a responsável pelo aquecimento dos objetos (Barreira, 2004; Flir Systems, 2006).

Para testar a sua ideia, visto que para cada cor correspondia um determinado nível de calor, Herschel fez passar a radiação solar através de um prisma de vidro para decompor as cores do espectro visível, isto é, as cores compreendidas entre a luz violeta e a luz vermelha (Figura 2-2). Com isto, ele pretendia medir a temperatura de cada cor, fazendo-as incidir individualmente sobre um termómetro. Concluindo que a temperatura aumentava consoante progredia no espectro, ou seja a temperatura aumentava na medida em que evoluía da cor violeta para a cor vermelha. Notou também que imediatamente a seguir à cor vermelha, numa zona em que a radiação não era visível, a temperatura era ainda mais elevada.

Após esta experiência e confrontando os resultados desta com outras experiências, Herschel apelidou as radiações que se situavam para além da luz vermelha e invisíveis a olho nu, como “raios caloríficos”, visto que eram estas as responsáveis pelo aquecimento dos objetos. Atualmente essas radiações são designadas por radiações infravermelhas (Barreira, 2004; Gonçalves, 2011).

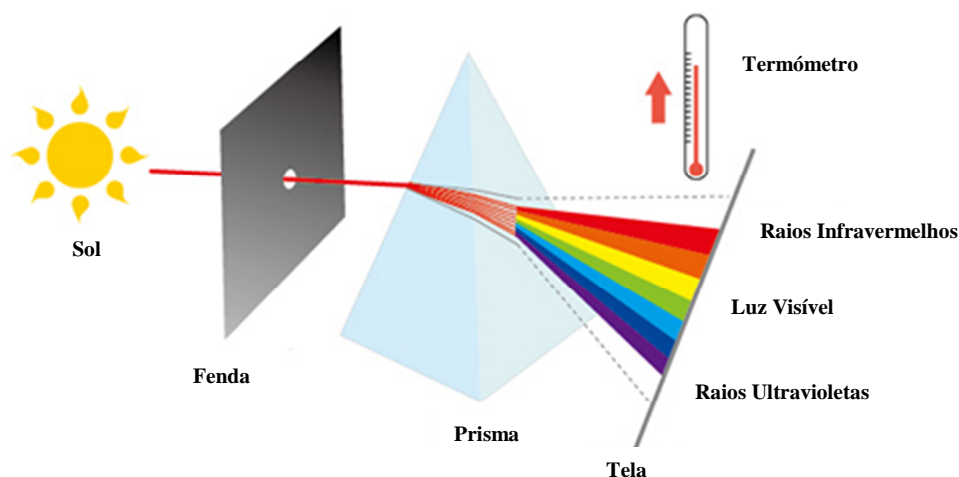


Figura 2-2: Experiência efetuada por Herschel (adaptado de Apiste Corporation, s.d.)

Em 1840, surgiu a primeira “imagem de calor”, através de Sir John Herschel, filho de William Herschel. Este desenvolveu um processo de deteção e registo da radiação infravermelha, baseado na evaporação diferencial de um filtro de óleo, aquando da sua exposição a um padrão de calor.

Em 1880, Samuel Langley produziu o primeiro bolómetro, que mais tarde viria a ser aperfeiçoado por Charles Greeley Abbot. Um bolómetro consiste num aparelho que é capaz de medir diferenças de temperatura extremamente pequenas, por meio da variação de uma resistência elétrica com a variação da sua temperatura. Permitindo melhorar significativamente a sensibilidade na deteção dos raios infravermelhos (Santos, 2006).

Nos trinta anos que se seguiram, com o avanço da tecnologia, desenvolveram-se os primeiros detetores quânticos, fundamentados na interação entre a radiação e a matéria. O sinal elétrico

devido à radiação térmica deixou de ser produzido, passando então a existir conversão direta da radiação em sinais elétricos.

Em 1946, surge o primeiro *scanner* de infravermelhos para uso militar, demorando várias horas para produzir um termograma. Em 1954, tornou-se possível a produção de termogramas em duas dimensões, em apenas 45 minutos. Somente em meados dos anos 60 é que foi possível obter imagens em tempo real.

Os primeiros sistemas de imagens térmicas portáteis surgiram no decorrer dos anos 70, impulsionados essencialmente pelo desenvolvimento militar. É também a partir daí que se observaram grandes avanços tecnológicos, como a redução do peso das câmaras termográficas (que inicialmente pesavam perto de 40 kg e hoje pesam menos de 2 kg), as leituras passaram a ser visualizadas diretamente no monitor das câmaras, assim como, a sensibilidade térmica dos aparelhos aumentou drasticamente. Hoje em dia, para além de as câmaras termográficas poderem ser conectadas aos computadores, existem ainda inúmeros *softwares* onde as imagens podem ser analisadas e manipuladas (Santos, 2006).

2.2 Princípios físicos

2.2.1 Espectro eletromagnético e radiação infravermelha

O espectro eletromagnético (Figura 2-3) é constituído por diversas formas de emissões eletromagnéticas, definidas pelo seu comprimento de onda. Podemos agrupá-los em dois grupos, os que têm comprimentos de onda curtos e localizados antes do espectro visível, como as regiões dos ultravioletas, dos raios x e dos raios gama e os que têm comprimentos de onda longos e localizados após o espectro visível, como as regiões dos infravermelhos, das micro-ondas e das ondas de rádio. É de referir que a região “visível” caracteriza-se como sendo a única região do espectro que é visível pelo olho humano.

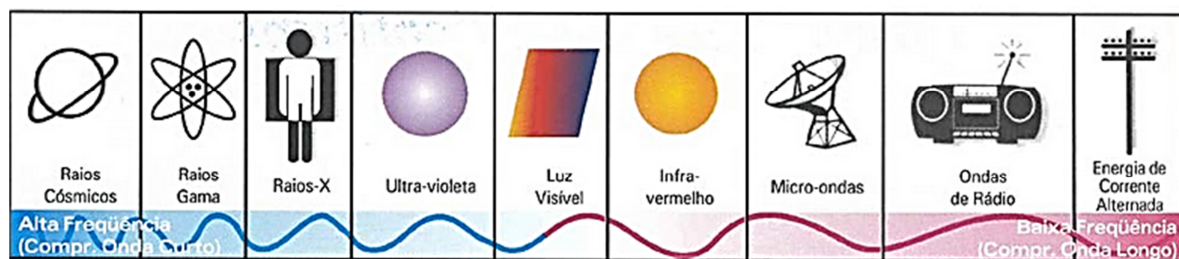


Figura 2-3: Espectro eletromagnético (Infratemp, 2010)

A radiação infravermelha é a luz não visível, devido ao seu comprimento de onda ser demasiado longo para ser detetado pelo olho humano. Todos os corpos cuja temperatura seja superior ao zero absoluto (-273°C) irradiam continuamente calor, independentemente da temperatura a que se encontrem. Quanto mais elevada for a temperatura do objeto, maior será

a radiação infravermelha irradiada. Em suma, a radiação infravermelha permite-nos visualizar o que os nossos olhos não conseguem ver. É parte integrante do espectro eletromagnético, localizando-se entre a luz visível e as micro-ondas. Está subdividida em três regiões dependendo do seu comprimento de onda: os infravermelhos próximos (0,75 a 1,5 μm), médios (1,5 a 20 μm) e extremos (20 a 1000 μm), como é possível observar na Figura 2-4.

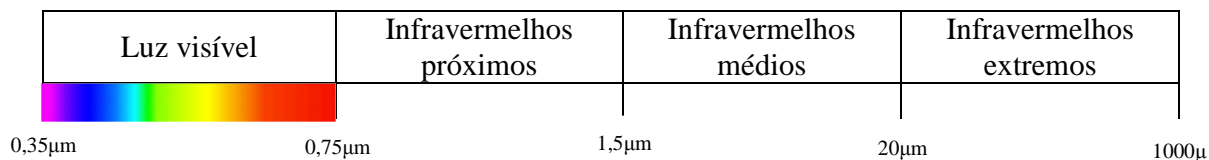


Figura 2-4:Espectro visível e dos infravermelhos (adaptado de Gaussorgues,1999)

2.2.2 Radiação do corpo negro

Para compreender as características radiantes das superfícies, é necessário enunciar-se o conceito de corpo negro. Este é caracterizado como sendo capaz de absorver toda a radiação que incida sobre ele, acrescido de que, em equilíbrio térmico, as suas taxas de emissão e absorção de energia são exatamente iguais. Então se um corpo negro for capaz de absorver 100% da radiação que incide sobre ele, emitirá também 100% dessa mesma radiação. Concluindo portanto que, a radiação emitida dependerá apenas da sua temperatura, enquanto num corpo não negro, para além da temperatura, dependerá também do material que o constitui.

A radiação emitida por um corpo negro é traduzida pela Lei de Planck, Equação (2-1).

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{\exp \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T} - 1} \quad (2-1)$$

Em que:

$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda}$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-3}]$	Radiância espectral ou poder emissivo por unidade de superfície do corpo negro e por comprimento de onda
$h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$	$[\text{J} \cdot \text{s}]$	Constante de Planck
$k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$	$[\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$	Constante de Boltzmann
$c = 2,998 \cdot 10^8$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Velocidade da luz
T	$[\text{K}]$	Temperatura do corpo negro

Através da análise dos componentes da equação, percebe-se que a radiância espectral é dependente não só da temperatura, mas também do comprimento de onda. Através da análise

da Figura 2-5 é possível observar graficamente o comportamento destas duas variáveis, constatando-se que à medida que a temperatura diminui o pico da curva vai-se deslocando, aumentando o comprimento de onda e diminuindo a radiação espectral.

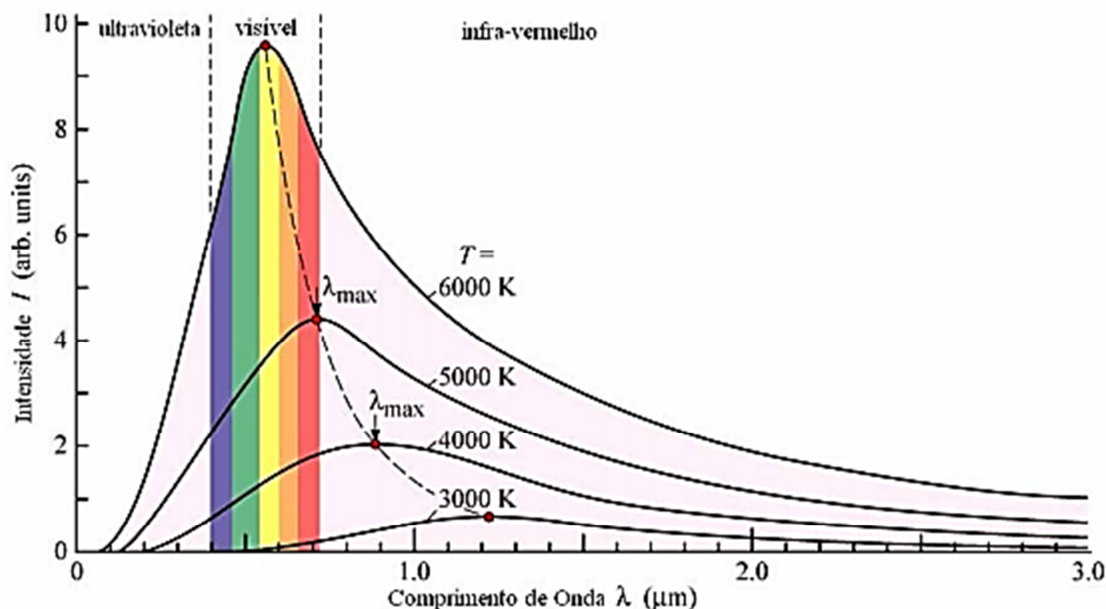


Figura 2-5: Radiação do corpo negro em função da temperatura e do comprimento de onda (Craveiro, 2008)

Derivando a Lei de Planck em relação ao comprimento de onda, obtém-se a Lei de Wien, que traduz o deslocamento do valor máximo da radiância espectral em função da temperatura.

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} \quad (2-2)$$

e

$$\frac{dR(\lambda, T)}{d\lambda} = 1,286 \cdot 10^{-5} \cdot T^5 \quad (2-3)$$

Em que:

 λ_{max} $[\mu\text{m}]$

Comprimento de onda

A Lei de Stefan-Boltzmann é obtida através da integração da Lei de Planck no domínio $[\lambda=0; \lambda=\infty]$, permitindo assim obter-se o valor da radiação espectral de um corpo negro para uma temperatura (T).

$$R_t = \sigma \cdot T^4 \quad (2-4)$$

Em que:

$$R_t \quad [W \cdot m^{-2}] \quad \text{Radiância espectral total do corpo negro}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} = 5,67 \cdot 10^{-8} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^4] \quad \text{Constante de Stefan-Boltzmann}$$

2.2.3 Radiação do corpo não negro

Num corpo não negro ou corpo real, ao contrário do que acontece num corpo negro, apenas uma parte da radiação incidente é absorvida (α), sendo a restante refletida (ρ) e transmitida (τ), (Figura 2-6). Estes três parâmetros dependem do comprimento de onda, tal como se pode constatar na Equação (2-5).

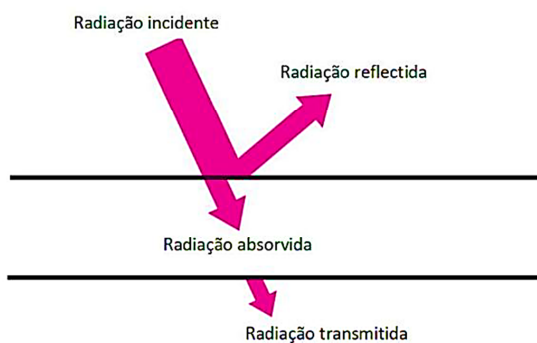


Figura 2-6: Comportamento da radiação de um corpo não negro (Sousa, 2010)

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (2-5)$$

Em que:

$\alpha(\lambda)$	[-]	Absorção espectral, que traduz a razão entre a radiância absorvida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda
$\rho(\lambda)$	[-]	Reflexão espectral, que traduz a razão entre a radiância refletida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda
$\tau(\lambda)$	[-]	Transmissão espectral, que traduz a razão entre a radiância transmitida pelo objeto e a radiância total que sobre ele incide, para um dado comprimento de onda

Para que o equilíbrio do sistema seja verificado, a energia absorvida pelo corpo tem que ser compensada pela energia que ele emite, esta última é designada por emissividade espectral $\varepsilon(\lambda)$. Segundo a Lei de Kirchoff, qualquer corpo a uma determinada temperatura e com um determinado comprimento de onda, apresenta emissividade e absorção espectrais iguais. Desta forma, através da Equação (2-5) é possível obter a Equação (2-6).

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (2-6)$$

Alguns materiais apresentam valores específicos para os diferentes parâmetros como se pode visualizar no Quadro 2-1.

Quadro 2-1: Valores típicos dos diferentes parâmetros, em função do comprimento de onda, para determinados corpos

	Emissividade (ε)	Reflexão (ρ)	Transmissão (τ)
Corpo negro	1	0	0
Corpo transparente	0	0	1
Espelho perfeito	0	1	0
Superfície opaca	$\varepsilon + \rho = 1$		0
Corpo cinzento	Constante	Constante	0

Através da análise da Figura 2-7, é possível visualizar o comportamento de diferentes tipos de materiais em função da emissividade e do comprimento de onda.



Figura 2-7: Variação da emissividade em função do comprimento de onda, para diferentes materiais (Gaussorgues, 1999)

2.2.4 Emissividade

A emissividade é definida como sendo a capacidade que um objeto tem de emitir energia infravermelha, quando comparado com um corpo negro à mesma temperatura.

Trata-se do parâmetro mais importante numa avaliação termográfica, pois varia com o comprimento de onda, com o ângulo de observação, com a temperatura e com o tipo de superfície. O incorreto manuseamento desses parâmetros pode levar a uma interpretação errada dos resultados.

2.2.4.1 Métodos para determinar a emissividade

Atendendo ao facto de a emissividade ser um parâmetro de extrema importância na avaliação termográfica, surgiu a necessidade de criação de métodos práticos para a determinar.

Existe uma diversificada bibliografia com valores da emissividade de inúmeros materiais. No entanto, aconselha-se alguma precaução na sua utilização, visto que a emissividade varia consoante as condições de medição, nomeadamente: a temperatura do ensaio, o acabamento da superfície do material, o ângulo de medição e a gama de comprimentos de onda adotada.

O método mais comum consiste em colar uma porção de fita isolante de cor preta, cuja emissividade é conhecida, numa parte da superfície a ensaiar. É de referir que a fita deve ser colada com algum tempo de antecedência, de preferência na véspera do ensaio, para que a temperatura da fita fique totalmente homogeneizada com a da superfície. Depois retira-se um termograma à fita com a respetiva emissividade, que normalmente ronda os 0,95, para se conhecer a sua temperatura. Posteriormente aponta-se a mira da câmara termográfica para a superfície, inserindo a temperatura conhecida e ajusta-se a emissividade até se atingir essa mesma temperatura. Fica-se assim a conhecer o valor da emissividade da superfície em estudo (Barreira, 2004).

Um processo muito semelhante ao anterior consiste em substituir a fita isolante preta por tinta preta, de emissividade conhecida, e pintar um pouco da superfície em estudo. Mede-se a temperatura superficial da zona pintada e ajusta-se a emissividade da superfície abrangente para que se atinja a mesma temperatura. Este processo apenas se pode utilizar quando é possível pintar a superfície (Avdelidis e Moropoulou, 2003; Barreira, 2004).

Outro método muito eficiente consiste em medir a temperatura superficial de um determinado objeto, utilizando um termómetro pontual de infravermelhos ou um termopar. Posteriormente apontando a câmara termográfica para o ponto onde a temperatura é conhecida, ajusta-se a emissividade até que se atinja essa mesma temperatura (Barreira, 2004).

É possível também determinar a emissividade fazendo-se um buraco na superfície do objeto, ou num material semelhante, que satisfaça a condição de corpo negro. Após ser atingido o equilíbrio térmico, com recurso a um termómetro de infravermelhos deve medir-se a temperatura do buraco, assim como a da superfície adjacente. O valor da emissividade será o quociente entre esses dois valores (Barreira, 2004).

No caso de os estudos serem realizados em laboratório e os objetos serem de pequenas dimensões pode aquecer-se o objeto e um corpo negro numa estufa, até que se atinja o equilíbrio térmico e os dois corpos fiquem à mesma temperatura. A resultante da razão entre os valores obtidos pelo equipamento para a radiação emitida pelo objeto e pelo corpo negro será o valor da emissividade (Barreira, 2004; Silva, 2012).

É de salientar que para a escolha do método mais adequado, é fundamental avaliar as condições específicas de cada medição.

2.2.4.2 Fatores que influenciam a emissividade

Existem inúmeros fatores que podem levar a um ajuste incorreto da emissividade, conduzindo a uma distorção dos resultados. Seguidamente salientam-se os mais importantes:

- Comprimento de onda

A variação da emissividade com o comprimento de onda depende essencialmente do tipo de materiais a analisar. No caso dos materiais sólidos, apresenta uma variação relativamente lenta, ao invés dos gasosos e líquidos, que apresentam variações bruscas. Nos metais, a emissividade diminui com o comprimento de onda, apresentando comportamento contrário quando estamos perante os não-metais (Barreira, 2004).

- Ângulo de observação

O ângulo de observação pode distorcer o valor real da emissividade no caso de se tratar de superfícies não planas, introduzindo o conceito de emissividade aparente, que varia de ponto para ponto, apesar de não haver alteração do material. No caso dos metais, os valores da emissividade são baixos e sem grandes variações para ângulo entre os 0° e os 40°, aumentando bruscamente para ângulos superiores. Já para os não-metais, a variação da emissividade para ângulos entre os 0° e 60° em relação à perpendicular à superfície, é praticamente inexistente. Porém, para ângulos superiores a 70° verifica-se uma descida repentina até zero (Barreira, 2004).

- Temperatura

No que diz respeito à temperatura, a emissividade tem comportamentos diferentes dependendo do tipo de material. Como se pode observar na Figura 2-8, os metais têm uma emissividade pouco elevada, que aumenta com o aumento da temperatura, de forma gradual. Já nos restantes materiais (Figura 2-9) constata-se o oposto, pois com o aumento da temperatura verifica-se uma diminuição da emissividade.

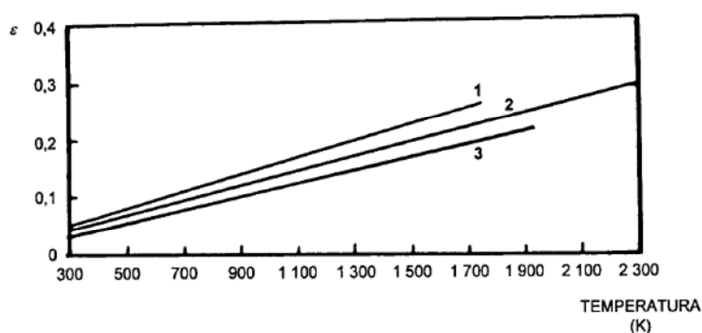


Figura 2-8: Variação da emissividade com a temperatura para o níquel (1), Tungsténio (2) e platina (3) (Gaussorgues, 1999)

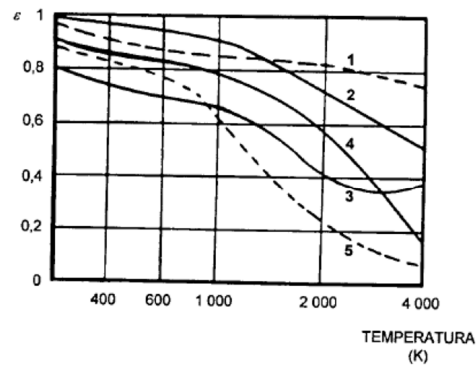


Figura 2-9: Variação da emissividade com a temperatura para borracha (1), porcelana (2), cortiça (3), papel (4) e argila refratária (5) (Gaussorgues, 1999)

- Superfície do objeto

Perante uma superfície lisa, brilhante, reflexiva ou polida é comum registrar emissividades mais baixas do que em paredes rugosas ou ásperas do mesmo material. Quanto mais baixa for a emissividade de um material, como os metais, maior será a radiação infravermelha refletida e maior será a dificuldade em realizar medições precisas.

2.3 Análise qualitativa vs. análise quantitativa

Aquando da realização de ensaios termográficos é fundamental definir qual o objetivo do mesmo e a natureza do objeto em estudo, recorrendo-se então a uma análise qualitativa ou quantitativa.

A análise qualitativa é rápida, de fácil interpretação e deve ser utilizada sempre que se pretenda apenas visualizar as diferentes temperaturas superficiais dos objetos em estudo, identificando-se assim as anomalias. Apesar da simplicidade do método, é conveniente que os ensaios sejam realizados, e os resultados interpretados, por alguém experiente, para saber que tipo de imagem seria espetável, caso não existissem anomalias. É de referir que as imagens térmicas podem ser obtidas com emissividade constante e a sua interpretação pode ser realizada no local do ensaio. Para que sejam evitados erros de interpretação, sempre que possível, devem realizar-se termogramas de zonas do objeto não afetadas, para servir como referência. Se as condições de ensaio forem semelhantes às da envolvente, é possível comparar o termograma do objeto com anomalias com o termograma de referência.

Já a análise quantitativa é utilizada quando se pretende quantificar as variações da temperatura superficial do objeto. Requer mais detalhe, condições de ensaio mais rigorosas, já que é necessário a introdução dos parâmetros do objeto como a temperatura ambiente, humidade relativa, distância à superfície, temperatura refletida e emissividade, o que torna o processo mais demorado e complexo.

É necessário calibrar a câmara termográfica, visto que se pretendem valores reais da temperatura do objeto em estudo, e não temperaturas relativas como na análise qualitativa. Os procedimentos de calibração deverão ser feitos em conformidade com o manual da câmara termográfica.

Os resultados deste tipo de análise não são analisados no local de ensaio, as imagens são guardadas, assim como todos os parâmetros anotados, para posteriormente serem analisadas, recorrendo a um *software* informático e só depois interpretadas.

Em termos comparativos a abordagem quantitativa é, obviamente, a mais eficaz e completa, visto que permite medir as temperaturas (Barreira, 2004; Silva 2012).

2.4 Termografia ativa vs. termografia passiva

Os ensaios termográficos podem ser abordados de duas maneiras diferentes, isto é, na presença ou não de um estímulo térmico, tratando-se de termografia ativa e passiva, respetivamente.

A termografia ativa caracteriza-se por submeter o objeto em estudo, a estímulos térmicos, sejam eles de aquecimento ou arrefecimento, provocando um contraste térmico nas zonas que se encontrem em equilíbrio térmico. O contraste térmico pode ser estimulado recorrendo a várias fontes de energia, umas mais simples como, lâmpadas de halogéneo, flashes fotográficos, jatos de ar quente e outras mais sofisticadas como pulsos ultrassónicos, radiação infravermelha, micro-ondas, lasers. As imagens térmicas são captadas durante o período de retorno ao estado de equilíbrio térmico (Silva, 2012; Sousa, 2010).

No caso da termografia passiva, não há qualquer tipo de intervenção térmica, sendo o objeto analisado de acordo com a sua temperatura normal de funcionamento. É de referir que a radiação solar é considerada fonte natural. A principal vantagem desta abordagem é de apenas necessitar da câmara termográfica para efetuar os ensaios. É utilizada fundamentalmente na medicina, na manutenção de sistemas, na avaliação de diversos processos industriais, assim como no estudo de grandes estruturas como pontes e edifícios (Sousa, 2010).

2.5 Vantagens e desvantagens da termografia

A utilização da termografia de infravermelhos tem vindo a expandir-se nas mais diversas áreas, devido ao facto de as vantagens que esta técnica apresenta, se sobreporem às suas limitações. Seguidamente serão enumeradas algumas das suas principais vantagens assim como as desvantagens.

As principais vantagens são:

- Técnica de ensaio não destrutiva, visto que não exige contacto entre a câmara termográfica e a superfície em estudo (Barreira, 2004; Silva, 2012);
- Possibilita a visualização de imagens no formato infravermelho, permitindo inspecionar objetos em tempo real, de forma rápida e segura (Silva, 2012; Oliveira, 2013);
- Fácil análise qualitativa, visto que as diferentes temperaturas são representadas por diferentes cores (Oliveira, 2013);
- Permite fazer uma análise geral, sendo possível localizar várias anomalias num único termograma (Silva, 2012; Sousa, 2010; Mateus, 2013);
- Pode ser utilizada independentemente das condições de visibilidade, sejam elas noturnas ou de nevoeiro cerrado (Sousa, 2010);
- Equipamento leve e portátil, permite a sua utilização em movimento assim como avaliar objetos de difícil acesso (Silva, 2012; Oliveira, 2013; Sousa, 2010);
- Permite detetar pequenas flutuações de temperatura (Sousa, 2010);
- Permite detetar anomalias ainda numa fase preliminar (Barreira, 2004);
- Pode ser realizada sem perturbar o normal funcionamento e comportamento do elemento a analisar (Sousa, 2010);
- Permite obter elevado rigor, alta repetibilidade e credibilidade nas medições;
- Os equipamentos termográficos permitem o armazenamento das imagens em diferentes formatos (Craveiro, 2008).

As principais desvantagens são:

- Equipamento bastante dispendioso (Barreira, 2004; Silva, 2012);
- Necessita de uma pessoa qualificada para analisar os resultados, sobretudo se se tratar de uma análise quantitativa (Barreira, 2004; Silva, 2012; Sousa, 2010);
- A presença de obstáculos na vizinhança pode influenciar os resultados (Barreira, 2004; Sousa, 2010);
- As condições climáticas, assim como a altura do dia em que se realiza o ensaio, tem um impacto direto nos resultados obtidos. Situações de chuva e vento poderão provocar uma descida da temperatura da superfície, tal como a radiação solar a incidir diretamente sobre a superfície pode causar o efeito contrário (Silva, 2012);

- No caso de se pretender utilizar o método da termografia ativa em grandes superfícies, é difícil conseguir-se um aquecimento/arrefecimento uniforme (Oliveira, 2013; Sousa, 2010);
- Calibrações deficientes podem influenciar os resultados obtidos e, consequentemente, conduzir a conclusões incorretas;
- Não permite determinar a profundidade e a espessura da anomalia detetada.

3. Aplicações e incerteza da termografia em edifícios

3.1 Aplicações da termografia

A termografia de infravermelhos é uma técnica não destrutiva, que permite realizar medições em tempo real, sem necessidade da existência de contacto entre o equipamento e o objeto a medir, constituindo assim uma metodologia de diagnóstico potente e promissora. No entanto por vezes é necessário complementar o diagnóstico com outras técnicas de ensaio, para se obterem resultados mais precisos.

A análise termográfica procura detetar a existência de incoerências nos padrões de temperatura superficial dos elementos. A ocorrência de diferenças nos padrões de temperatura indicia então a existência de problemas.

Seguidamente serão mencionadas as principais aplicações da termografia em edifícios, incluindo a descrição sucinta de trabalhos científicos relevantes, assim como em outras áreas onde a utilização desta técnica se assume como uma excelente ferramenta de diagnóstico, destacando-se as seguintes áreas: ciência, indústria, segurança, vigilância, história e arte.

3.1.1 Aplicações em edifícios

A crescente utilização da termografia de infravermelhos na construção civil está intrinsecamente relacionada com o facto de se tratar de um ensaio não destrutivo, permitindo-lhe apresentar-se como uma ótima ferramenta de diagnóstico, utilizada na manutenção e na reabilitação, possibilitando desenvolver estudos relacionados com o desempenho térmico dos

elementos construtivos, assim como identificar anomalias construtivas e áreas degradadas. Hoje em dia, poderá ser ainda uma mais-valia na investigação de novos materiais, bem como no acompanhamento das diversas fases do processo construtivo, desde a conceção do projeto até à execução da obra, possibilitando assim o controlo de qualidade.

Complementar esta técnica com outras técnicas de diagnóstico pode conduzir a resultados mais precisos e sustentados.

De uma forma sucinta a aplicação desta técnica em edifícios permite, entre outros, identificar/avaliar:

- Zonas com isolamento térmico deficiente;
- Fugas de ar;
- Defeitos em revestimentos de fachadas;
- Patologias relacionadas com humidade;
- Detalhes ocultos;
- Problemas na cobertura;
- Conforto térmico de revestimentos de pavimentos;
- Patologias ainda não manifestadas, assim como servir de ferramenta para descobrir a origem de patologias visíveis.

Com base na revisão bibliográfica efetuada, apresenta-se seguidamente, de uma forma mais detalhada, alguns exemplos de trabalhos científicos em que esta técnica foi aplicada na análise de edifícios e elementos construtivos.

- Identificação de zonas com isolamento térmico deficiente

Segundo Barreira (2004), a termografia permite supervisionar e avaliar o desempenho das diversas técnicas de isolamento térmico. Nomeadamente, aquando da inspeção de uma determinada zona de um elemento construtivo, com igual revestimento final e portanto, de emissividade uniforme, se existir variação acentuada na cor nos termogramas obtidos, essa variação da temperatura superficial pode ser resultante da inexistência ou da deficiente aplicação de isolamento térmico.

Balaras e Argiriou (2002) afirmaram que é possível detetar que o isolamento térmico se encontra danificado, numa determinada zona de um elemento construtivo, quando os termogramas tirados pelo exterior e pelo interior apresentarem diferenças de temperaturas de 11°C. Concluíram também que, num termograma tirado pelo exterior durante o inverno, as pontes térmicas fazem-se notar como zonas de cores claras, uma vez que, as perdas de calor são provenientes do interior, que se encontra a uma temperatura superior, produzindo um aumento de temperatura nessas zonas. Por outro lado, quando tirado um termograma pelo interior do elemento construtivo, durante o verão, as pontes térmicas aparecem também como zonas de cor claras, consequência da absorção do calor da superfície externa, que é conduzido

para o interior através dos materiais de construção, sendo mais evidente sobretudo em alturas em que a temperatura é elevada.

- Detecção de fugas de ar

Barreira (2004) refere que é possível detetar as fugas de ar através da envolvente opaca de um edifício a partir da observação nos termogramas da variação da temperatura superficial que se desenvolve a partir de um ponto de fuga. No entanto, quando é necessário uma análise mais detalhada, deve estabelecer-se uma diferença de pressão artificial, recorrendo a equipamentos mecânicos de extração de ar, com o intuito de reduzir a pressão existente no interior do edifício, tornando-a inferior à pressão existente no exterior. Aumentando assim o fluxo de ar frio proveniente do exterior e, conseqüentemente, arrefecendo a superfície interior adjacente ao ponto de fuga de ar da fachada. Esta diferença ficará evidenciada nos termogramas obtidos após a despressurização, pois vai existir um aumento de área fria, permitindo detetar o ponto de fuga.

Dentro do mesmo trabalho de investigação, a autora refere ainda que as perdas de calor através das janelas acontecem devido a fugas de ar existentes nos caixilhos, nas dobradiças ou nos encaixes das janelas, podendo ser detetadas através da termografia. Face à ordem de grandeza destas fugas de ar, mais uma vez refere-se que é conveniente recorrer-se a equipamentos mecânicos para gerar uma diminuição artificial da pressão no interior, evidenciando-se assim o fenómeno. No entanto, as perdas de calor por condução apenas podem ser detetadas se forem eliminadas as radiações transmitidas através dos vidros, recorrendo a filtros especiais.

- Detecção de defeitos em revestimentos de fachadas

Barreira (2004) refere que a termografia pode ser uma ferramenta bastante útil para detetar anomalias em revestimentos de fachadas, ou entre estes e o suporte, tais como, vazios, fissuras ou descolamentos localizados.

Barreira e Freitas (2007) atestaram que a cor da superfície de uma fachada de azulejos tem muita influência na deteção de patologias, podendo mesmo mascarar eventuais patologias. Concluindo também que a influência da cor tem uma maior relevância quando existe maiores diferenças de temperatura.

Cerdeira *et al.* (2011) testaram a utilização da termografia de infravermelhos na inspeção de fachadas de edifícios, cujo revestimento final eram placas de granito. Os autores concluíram que através desta técnica de ensaio, é possível detetar a falta de aderência das placas de granito ao suporte. Verificaram ainda que quanto menor a espessura do revestimento, mais eficiente se torna a inspeção.

Mateus (2013) através de estudos experimentais de campo tentou analisar as potencialidades da utilização da termografia em fachadas antigas de azulejo. A reflexão dos azulejos, assim como a reflexão provocada por outras fontes de calor, como carros e pessoas, distorciam a temperatura superficial real do revestimento, daí a necessidade do autor ter de procurar definir o melhor ângulo entre a câmara termográfica e o objeto, para que as reflexões fossem evitadas. Concluiu também que a emissividade dos diferentes materiais por vezes poderá conduzir a uma incorreta análise das imagens térmicas. Como é visível na Figura 3-1, as diferentes cores dos azulejos manifestam-se de forma diferente, podendo num primeiro olhar induzir em erro. Por exemplo, aparentemente as zonas a amarelo teriam temperaturas superiores, mas na realidade estão à mesma temperatura das restantes zonas dos azulejos, apenas têm emissividade diferente e, por isso, não refletem a radiação infravermelha com a mesma intensidade.

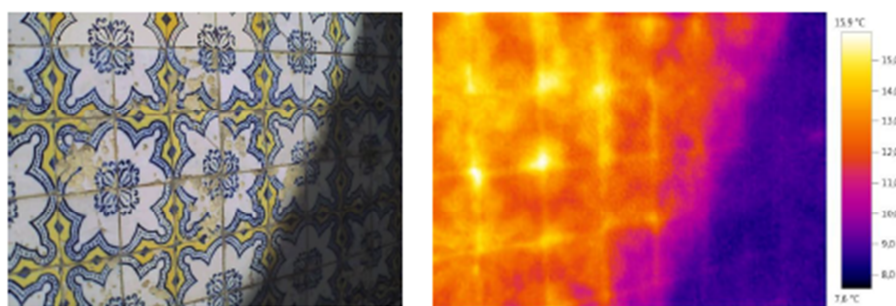


Figura 3-1: Diferença de intensidade da radiação infravermelha, provocada por diferentes emissividades (Mateus, 2013)

Adicionalmente, comprovou também que as fachadas que estejam mais tempo expostas ao sol apresentam resultados bastante positivos na identificação de anomalias relacionadas com a degradação das argamassas de assentamento e com a presença de humidade.

Ocaña *et al.* (2004) analisaram o desempenho térmico de dois edifícios, um de construção tradicional e outro de construção moderna, à noite e ao amanhecer, com o intuito de evitar os erros que a radiação solar pode provocar nos resultados. As fachadas no edifício tradicional eram de adobe preenchido com argamassa de cal, enquanto no edifício moderno eram de alvenaria dupla de tijolo, revestidas com tijolo exposto. Os autores concluíram que um aumento da qualidade dos termogramas traduz-se de forma direta em melhores resultados obtidos. Constataram também que os edifícios demonstraram um comportamento térmico diferente visto que, para o edifício moderno foi ao amanhecer que se obtiveram as maiores diferenças térmicas enquanto no edifício tradicional foi durante a noite que se obtiveram as maiores diferenças térmicas (Figura 3-2).

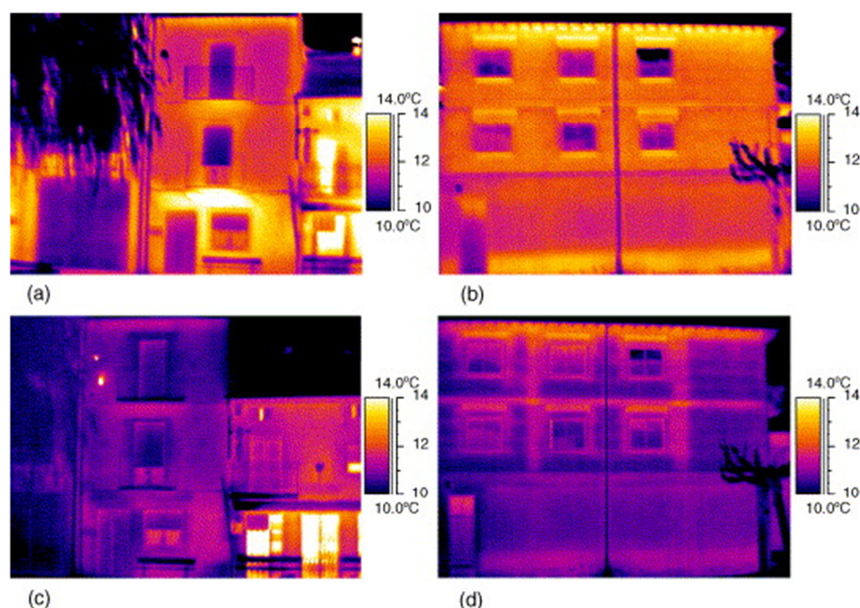


Figura 3-2: Comparação das imagens térmicas realizadas à noite e ao amanhecer. (a) Imagem térmica do edifício tradicional, à noite; (b) imagem térmica do edifício moderno, à noite; (c) imagem térmica do edifício tradicional ao amanhecer; (d) imagem térmica do edifício moderno ao amanhecer (Ocaña *et al.*, 2004)

- Detecção de patologias relacionadas com humidade

Barreira e Freitas (2007) recorreram à termografia de infravermelhos para estudar o processo de embebição e secagem em provetes de betão autoclavado. Os autores concluíram que a termografia apenas deteta a humidade superficial, não podendo portanto ser aplicada em objetos em equilíbrio térmico. Comprovaram também que o reconhecimento das zonas húmidas e secas apenas foi possível devido à diferença de temperatura existente nos termogramas, proporcionada pela evaporação na superfície molhada.

Edis *et al.* (2011) analisaram *in situ* o efeito das condições climáticas, em dois tipos de fachadas, uma revestida por cerâmica não vidrada e outra por cerâmica vidrada. Os autores concluíram que a cerâmica não vidrada tem uma elevada taxa de absorção de água, enquanto a cerâmica vidrada apresenta o comportamento contrário. A análise da cerâmica vidrada deve ser efetuada após um período de calor, contrariamente à não vidrada, daí a extrema importância da hora em que são efetuadas as medições. Nos termogramas as áreas cujas temperaturas são inferiores, são as zonas onde se evidenciam manchas de humidade. Concluíram também que a existência de eflorescências perturba as medições.

Lerma *et al.* (2011) realizaram um mapeamento qualitativo da humidade superficial da fachada de um edifício, com base numa análise multi-temporal. O tipo de material da construção e a velocidade das mudanças de temperatura em função da presença ou não de humidade foram os critérios utilizados pelos autores aquando da campanha experimental. Concluíram que uma abordagem ao longo do tempo é a mais indicada, visto que assim se pode observar o efeito das sombras, assim como os defeitos de imagem. De um modo geral, a

principal conclusão que os autores aferiram foi que a humidade está localizada nas áreas onde se apresentam valores de temperatura mais baixos (Figura 3-3).

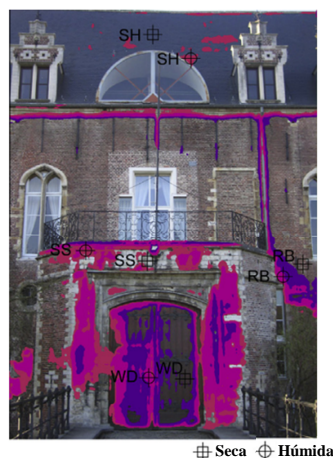


Figura 3-3: Identificação de áreas secas e húmidas, sobreposta à imagem real (adaptado de Lerma *et al.*, 2011)

- Deteção de detalhes ocultos

Barreira (2004) refere que a termografia de infravermelhos pode ser utilizada para visualizar pormenores que estejam encobertos, tais como, a posição da argamassa de assentamento numa parede que esteja revestida, localizar a posição das tubagens de pavimentos radiantes, assim como de fugas ou obstruções que possam ocorrer. É também bastante útil na localização de falhas nas instalações elétricas e na identificação de pontos de sobreaquecimento num circuito de iluminação.

- Deteção de problemas em coberturas

Balaras e Argiriou (2002) afirmam que inspeções termográficas com o intuito de detetar danos provocados pela água em coberturas devem ser realizadas durante a noite, porque durante o dia a radiação solar direta pode encobrir as diferenças de temperatura causadas pelo isolamento húmido.

Rajewski e Devine (1996) enunciam que é possível detetar anomalias provocadas pela água em coberturas, durante o inverno, visto que o isolamento húmido conduz o calor absorvido mais rapidamente que o isolamento seco, tornando assim uma superfície mais quente na zona do isolamento húmido.

- Avaliação do conforto térmico de revestimentos de pavimentos

Barreira (2004) avaliou o nível de conforto térmico de alguns materiais usualmente utilizados em pavimentos interiores, através da comparação de imagens térmicas da sola de um pé descalço, antes e após um determinado período de contacto com diferentes revestimentos. A

autora concluiu que aqueles que evidenciavam uma menor temperatura superficial do pé após esse mesmo contacto, eram os que provocavam maior desconforto (Figura 3-4).

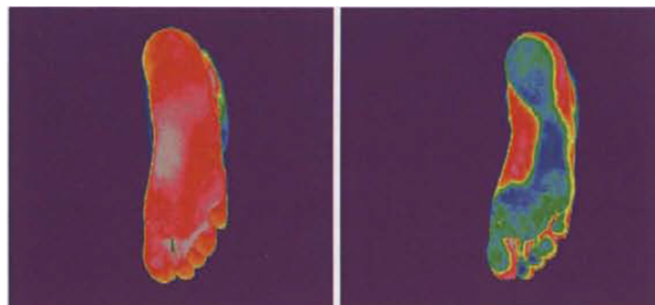


Figura 3-4: Termogramas efetuados após 1 minuto de contacto (Barreira 2004)

- Estudos efetuados em laboratório

Barreira e Freitas (2007) avaliaram a influência da emissividade nos termogramas utilizando provetes de betão celular autoclavado. Concluíram que o aumento da emissividade levava a um aumento de temperatura, assim como emissividades baixas levam a uma maior proximidade entre as temperaturas máxima e mínima como se pode observar na Figura 3-5.

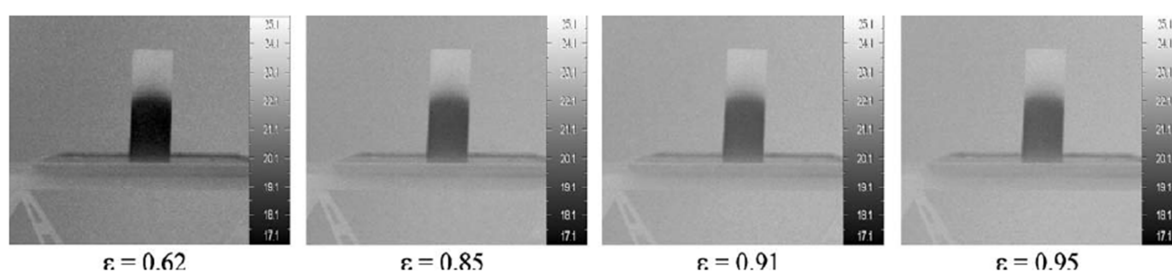


Figura 3-5: Termogramas de um provete de betão autoclavado com emissividades diferentes (Barreira e Freitas, 2007)

Avdelidis e Moropoulou (2003) estudaram em laboratório a variação da emissividade em função de diferentes temperaturas, em materiais cuja utilização é frequente na construção civil, como argamassas, mármore e pedras porosas. Utilizaram dois métodos distintos, um de acordo com a norma padrão ASTM Standard E1933-97, e outro de modo empírico. No modo empírico as amostras foram colocadas numa estufa a uma determinada temperatura e posteriormente colou-se nelas uma pequena porção de fita isolante preta, de emissividade 0,95, e compararam a emissividade do material adjacente à fita com a emissividade conhecida. Os autores concluíram que a emissividade varia de acordo com o tipo de superfície dos materiais e com a temperatura.

Silva (2012) efetuou uma série de ensaios experimentais para avaliar a influência de diversos parâmetros na obtenção de termogramas, tais como a emissividade, a distância entre a câmara termográfica e o objeto, as reflexões, o gradiente de temperatura na qualidade dos termogramas, assim como a influência da cor. Concluiu que a emissividade era uma tarefa complexa de se medir e verificou que para distâncias até 10 metros não existiam distorções da

temperatura superficial do elemento construtivo em estudo. Por outro lado, constatou que as reflexões nos termogramas distorciam a realidade, sendo por isso importante evitá-las. Verificou também que quanto maior fosse o gradiente térmico, melhor qualidade teria o termograma, assim como quanto mais elevadas fossem as temperaturas do objeto melhor se identificavam os seus pormenores.

3.1.2 Outras aplicações

De modo a alargar o estado da arte e consequentemente aprofundar o conhecimento sobre as potencialidades que a termografia possui, será seguidamente apresentado uma síntese de outras aplicações.

3.1.2.1 Ciência

- Medicina

A termografia assume um papel importante quer na medicina humana, quer na medicina veterinária (Figura 3-6). Na medicina humana é utilizada no diagnóstico de bastantes problemas de saúde de forma rápida e eficaz, tais como, a determinação de problemas circulatorios, localização de inflamações ocultas, análise de danos musculares, deteção do cancro da mama, avaliação da profundidade de queimaduras e avaliação da resposta do organismo a tratamentos fisioterapêuticos (Barreira, 2004). Para além disso, foi uma importante ferramenta na deteção e contenção das pandemias causadas pelos vírus da gripe das aves (H5N1) e da gripe A (H1N1), através da utilização de câmaras termográficas nos aeroportos (Flir Systems, s.d.). Enquanto na medicina veterinária é frequentemente utilizada como uma ferramenta não intrusiva de diagnóstico, não havendo portanto necessidade de contacto com o animal, reduzindo o seu nível de stress. É bastante útil para detetar zonas lesionadas dos tecidos, mesmo antes do surgimento dos sintomas. É utilizada nos estudos de populações de animais no estado selvagem, de espécies de grande porte ou notívagas (Barreira, 2004). Mais recentemente tem sido aplicada em competições equestres como meio de despistagem de substâncias dopantes (Sousa, 2010).

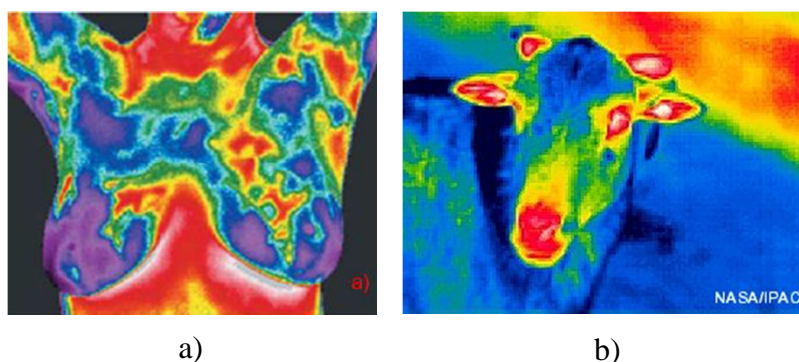


Figura 3-6: Termogramas aplicados na medicina humana e medicina veterinária. a) Deteção do cancro da mama (Oliveira, 2013); b) Imagem térmica de uma cabra (IPAC)

- Astronomia e exploração espacial

O espaço é constituído por regiões que se encontram envolvidas por gases e poeiras muito densas, tornando inviável a utilização dos telescópios óticos, visto que estes não conseguem penetrar nessas regiões e recolher informações. A radiação infravermelha permitiu ultrapassar este problema, devido a esta apresentar um maior comprimento de onda que a radiação visível, conseguindo assim atravessar essas zonas sem se dissipar (Barreira, 2004; Sousa, 2010) (Figura 3-7).



Figura 3-7: A termografia aplicada na astronomia e na exploração espacial (IPAC)

- Geologia

Através de satélites de infravermelhos é possível saber-se com bastante precisão a distribuição das rochas e dos minerais numa determinada região, visto que ambos têm uma maneira bastante característica de absorver e de emitirem a radiação infravermelha. As informações recolhidas têm sido aplicadas à vulcanologia, nomeadamente para monitorizar a atividade vulcânica e prever novas erupções, sendo assim possível, de forma segura, efetuar medições térmicas dos vulcões, tal como da sua envolvente e definir a quantidade e a composição dos fluxos de lava e de gases expelidos (Barreira, 2004) (Figura 3-8).

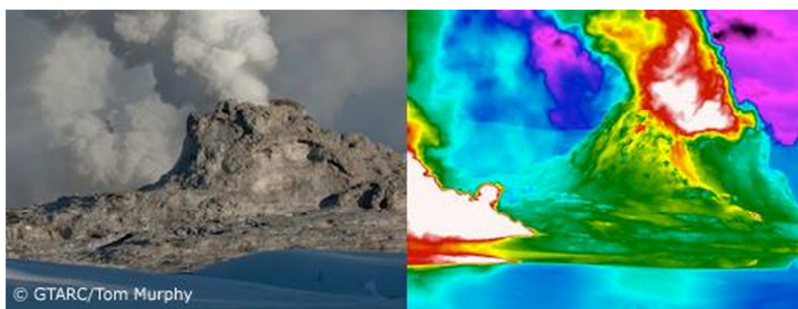


Figura 3-8: Imagem real e térmica, referente a atividade vulcânica (IPAC)

- Monitorização ambiental e ordenamento do território

A monitorização ambiental é realizada com recurso a satélites de infravermelhos, permitindo controlar a desflorestação, a propagação de incêndios florestais, o controlo dos níveis de poluição dos rios, a deteção de ligações ilegais às redes de esgotos, a localização ilegal de lixos em locais não autorizados, a fiscalização do desperdício de água e a monitorização da

emissão de gases poluentes para a atmosfera, entre outros. É também uma importante ferramenta utilizada no estudo das áreas urbanas, com o intuito de localizar a maior distribuição de calor, proveniente dos elevados níveis de ozono, facilitando assim o trabalho dos urbanistas, para uma futura implantação de zonas verdes (Barreira, 2004) (Figura 3-9).

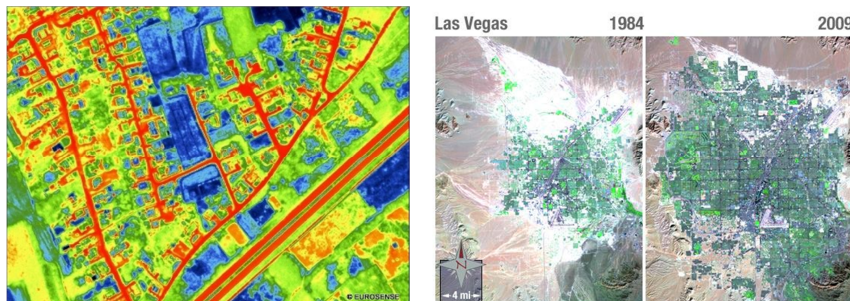


Figura 3-9: Monitorização citadina e ambiental com recurso a infravermelhos (IPAC)

- Oceanografia

A determinação da temperatura dos oceanos e dos lagos é efetuada através das imagens do espectro do infravermelho, captadas pelos satélites que orbitam em torno da Terra. Permitindo estudar os movimentos das correntes marítimas em grande escala, assim como monitorizar a rebentação das ondas. Existem também equipamentos responsáveis por determinar a localização e movimento de icebergues nos oceanos polares. É de referir que os mapas térmicos dos oceanos, (Figura 3-10), para além da vertente de investigação, assumem também uma especial importância na pesca comercial e desportiva, visto que o movimento dos cardumes é condicionado pelas temperaturas (Barreira, 2004).

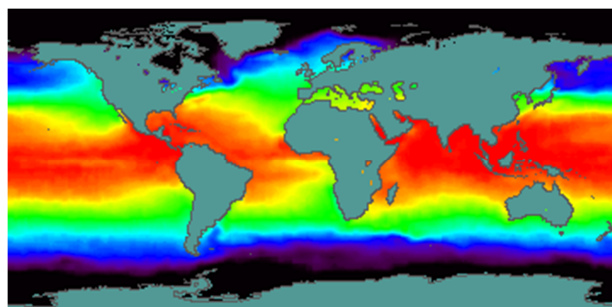


Figura 3-10: Mapa global das temperaturas superficiais dos oceanos (IPAC)

- Meteorologia

Na meteorologia é essencial medir a temperatura para se estudar e prever o estado do tempo. A monitorização do tempo na Terra é efetuada com recurso a satélites de infravermelhos, que medem a temperatura das nuvens e a altitude a que se situam do solo. Os mapas utilizados nos programas televisivos acerca de meteorologia são mapas de infravermelhos. É também com recurso aos satélites de infravermelhos que se estuda os ciclones e tornados, sendo detetada a sua formação durante a noite (Figura 3-11). É também através deles que melhor se

compreende as transferências de energia entre o Sol e a Terra, fator que condiciona as condições climáticas (Barreira, 2004).

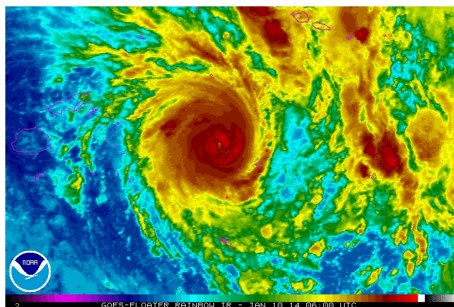


Figura 3-11: Imagem de infravermelhos do ciclone tropical Ian (NOAA)

3.1.2.2 História e arte

É cada vez mais frequente a utilização de imagens de infravermelhos em atividades de conservação, datação, autenticação e restauro de obras de arte, visto que assim é possível revelar pormenores por detrás de pinturas de artistas famosos, assim como detetar pigmentos em pinturas rupestres (Figura 3-12.a)). Como curiosidade refere-se também a sua utilização na arqueologia, que através das diferenças de temperatura próximas do solo, permitiu serem descobertos milhares de quilómetros de estradas e caminhos antigos (Figura 3-12.b)) (Barreira, 2004).



a)



b)

Figura 3-12: Aplicação de infravermelhos na história e na arqueologia. a) Detecção de textos invisíveis de manuscritos antigos; b) Detecção de uma estrada arqueológica (IPAC)

3.1.2.3 Indústria

- Manutenção de sistemas mecânicos

A aplicação da termografia tem assumido uma enorme importância na monitorização de sistemas mecânicos, visto que possibilita detetar qual a componente do sistema que se encontra com defeitos ou anomalias, proporcionando a sua reparação antes do colapso total do sistema. No que toca à indústria automóvel, permitem analisar o desempenho térmico dos motores, dos pneus e dos travões, assim como controlar os sistemas de aquecimento, descongelação e ar condicionado. É uma importante aliada na indústria metalúrgica já que

permite realizar a manutenção de fornos, detetando fissuras e zonas degradadas, assim como controlar a temperatura (Barreira, 2004; Sousa, 2010; Gonçalves, 2011).

Assume também uma grande importância na indústria aeronáutica, utilizando-se no estudo de materiais, detetando possíveis imperfeições e pontos quentes a nível elétrico e eletrónico. Permite a caracterização térmica dos reatores, assim como a localização de possíveis infiltrações de água. É também uma importante ferramenta na análise do comportamento térmico de pás e de túneis de vento (Barreira, 2004; Gonçalves, 2011) (Figura 3-13).

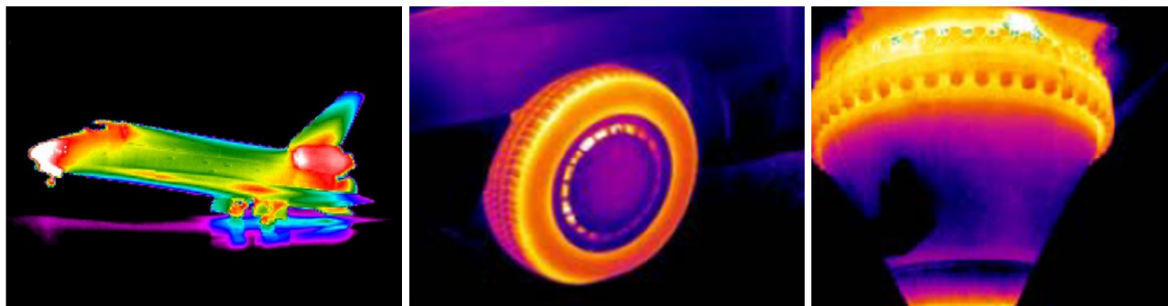


Figura 3-13: Termogramas de componentes mecânicos (Fraga *et al.*, 2009)

- Manutenção de sistemas elétricos

É muito frequente recorrer-se à termografia para inspecionar sistemas elétricos, visto que é uma técnica rápida e segura, pois não necessita de qualquer contacto na avaliação dos elementos. É utilizada para verificar ligações ou componentes com defeito, identificar sobrecargas e aquecimentos excessivos, assim como outros problemas perigosos, antes que o sistema colapse. No que toca aos componentes eletrónicos, permite conhecer a distribuição térmica das placas de circuitos impressos e inspecionar e controlar a qualidade de placas, assim como detetar e localizar curto circuitos (Barreira, 2004; Gonçalves, 2011) (Figura 3-14).

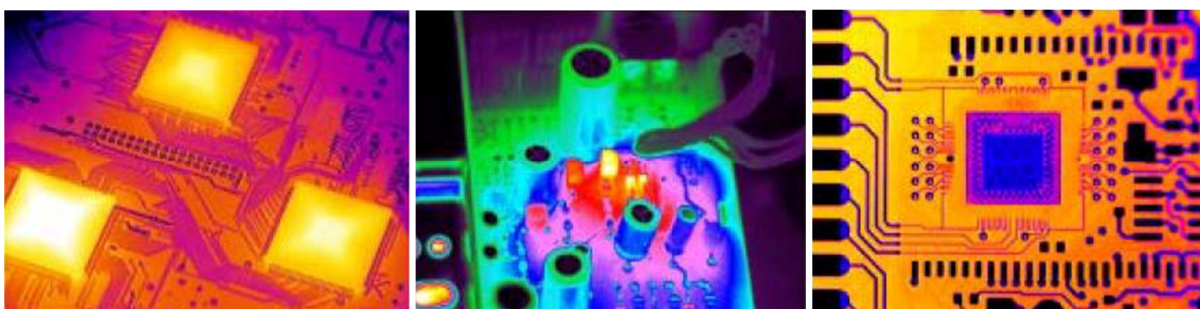


Figura 3-14: Imagens térmicas de componentes eletrónicos (Fraga *et al.*, 2009)

- Controlo do processo de fabrico

Os processos fabris estão em constante pressão para tornar a produção o mais eficiente possível, reduzindo os custos. A termografia é utilizada para controlar os processos de fabrico

e garantir a qualidade dos produtos, assim como monitorizar a maquinaria para que esta obtenha o rendimento máximo (Barreira, 2004; Gonçalves, 2011) (Figura 3-15).

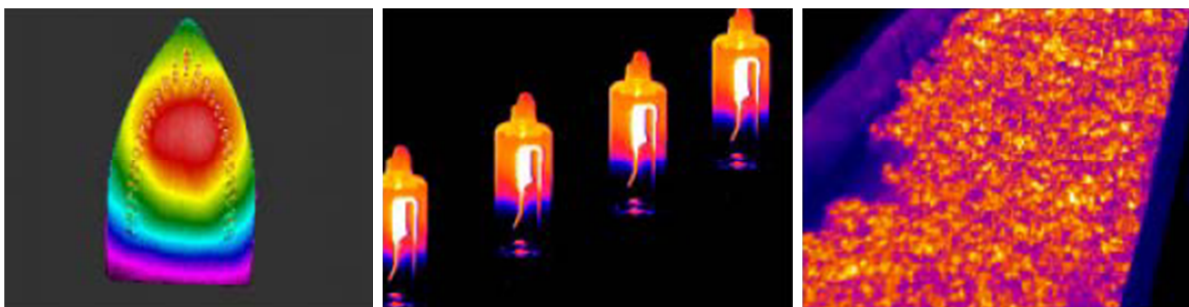


Figura 3-15: Termogramas utilizados para controlo do processo de fabrico (Fraga *et al.*, 2009)

- Energias renováveis

No campo das energias renováveis existem inúmeras aplicações, muitas delas de grande simplicidade, que permitem detetar elementos com defeitos, quer de fabrico, quer de instalação e até mesmo na manutenção de painéis fotovoltaicos e de turbinas eólicas. No caso dos painéis fotovoltaicos, as anomalias podem ser vistas claramente na imagem térmica, já nas turbinas eólicas, o facto de a câmara ser de fácil transporte é uma mais-valia quando se tem de subir dezenas de metros para poder inspecionar o equipamento (Figura 3-16).

Ao contrário de outros métodos, não ser necessário interromper o funcionamento normal dos equipamentos, torna-se uma das grandes vantagens da aplicação termografia de infravermelhos (Flir, 2011).

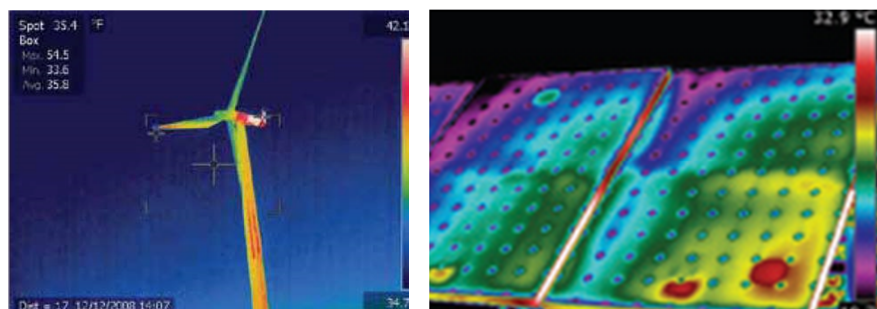


Figura 3-16: Termogramas aplicados na manutenção de elementos de energias renováveis (Flir, 2011)

3.1.2.4 Segurança e vigilância

Desde a II Guerra Mundial que as forças militares recorrem aos infravermelhos para se deslocarem durante a noite. Hoje em dia, são utilizados também na localização de alvos, como mira de armas, são incorporados em sistemas de deteção de minas terrestres e de prevenção de ataques aéreos ou terrestres (Figura 3-17). Permitem também medir a radiação térmica emitida pelos diversos veículos de combate, tais como tanques, aviões e navios e detetar se estes foram utilizados recentemente ou se estão prestes a partir (Barreira, 2004; Sousa, 2010).



Figura 3-17: Imagens térmicas referentes a identificação de alvos, em ação militar (MRA Instrumentação, s.d.)

A termografia de infravermelhos tem vindo a ser aplicada em diversos meios de segurança e vigilância. Ao nível do policiamento esta tecnologia é utilizada como auxílio do controlo de tráfego automóvel, fiscalização das fronteiras, localização de armas ou de outros produtos ilegais, assim como seguir os movimentos de um suspeito. Nas operações de salvamento é fundamental aquando da existência de reduzidas condições de visibilidade, tal como, no período noturno, condições climáticas adversas e existência de fumo. Na deteção de pessoas soterradas, devido a avalanches ou a sismos, assim como na localização de vítimas de naufrágios. Na navegação automóvel, marítima ou aérea, permite aumentar a visibilidade noturna assim como em condições de nevoeiro, aumentando os níveis de segurança. Relativamente ao combate a incêndios, é frequentemente utilizada na localização de áreas potencialmente perigosas, identificando nas florestas as zonas de maior calor. É com recurso às imagens térmicas que é possível detetar os focos de incêndios que estão encobertos pelo fumo, assim como detetar a existência ou não de pontos quentes por detrás de um elemento construtivo (Barreira, 2004) (Figura 3-18).



Figura 3-18: Imagens térmicas obtidas em ações de salvamento (IPAC)

3.2 Erros e incertezas que influenciam as medições

Na análise das medições termográficas, existem diversos fatores que podem distorcer os resultados e levar a interpretações erradas, daí a necessidade de serem tomadas precauções antes e durante a realização dos ensaios termográficos. Os principais erros de medição que podem influenciar a precisão destes ensaios são:

- O ajuste incorreto da emissividade do objeto

Como já foi referido no ponto 2.2.4.2, a emissividade varia em função do comprimento de onda da radiação, do ângulo de observação, da temperatura superficial e do tipo de superfície do objeto (Avdelidis e Moropoulou, 2003; Barreira, 2004).

- Imagens térmicas desfocadas

É fundamental que haja uma correta focagem do termograma, visto que esta característica não pode ser alterada posteriormente (Testo, 2012).

- Distância demasiado curta ou demasiado longa em relação ao objeto

Quanto maior for o afastamento entre a câmara termográfica e o objeto, menor será a resolução do termograma, portanto deve assegurar-se que a medição se faça na menor distância possível. Isto é, como a cada ponto do termograma corresponde uma área específica do objeto, com o aumento da distância, cada ponto irá corresponder a uma maior área dessa superfície e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida, perdendo-se o detalhe (Testo, 2012).

- Efeito da sujidade superficial

Como a câmara termográfica apenas capta a temperatura superficial, esta deve encontrar-se isenta de sujidade. Caso contrário, as temperaturas obtidas poderão estar relacionadas com a sujidade e não com a superfície real do objeto (Testo, 2012).

- Efeito das fontes externas de radiação

Luzes, máquinas e aquecedores, são exemplos de fontes externas de radiação, que poderão causar graves interferências nas medições, dependendo do seu poder radiativo e da reflexão das superfícies em análise. Antes de cada ensaio devem desligar-se todos os aparelhos que sejam geradores de calor, ou tê-los em consideração na análise dos resultados. É de referir que a radiação emitida por pessoas geralmente não causa grandes problemas.

- Refletividade dos materiais

O termograma apresentado pelo equipamento de infravermelhos resulta da soma da radiância proveniente da emissão do objeto e da reflexão da radiância emitida pelos objetos vizinhos, nas bandas espectrais estabelecidas. Logo quando se pretende uma análise quantitativa de temperatura é necessário avaliar a reflexão pelo objeto ou limitar a influência de fontes externas de radiação (Barreira, 2004).

- Atenuação atmosférica

A presença de atmosfera entre o objeto a medir e a câmara termográfica origina perturbações nas medições. Isto é, após a radiação infravermelha ser emitida por um determinado corpo, interage com a atmosfera circundante, sendo alguns dos seus comprimentos de onda absorvidos, transmitidos ou refletidos, não chegando na sua totalidade à câmara termográfica. A radiação solar, a temperatura ambiente, o vento, a chuva e a humidade são os principais fatores que podem distorcer a distribuição térmica do corpo a inspecionar, assim como a radiação infravermelha que chega à câmara termográfica, daí a necessidade da utilização de filtros espectralis para a seleção dos comprimentos de onda menos atenuantes nessas condições (Craveiro, 2008).

4. Estudo da secagem

4.1 Considerações iniciais

Influenciado por um inverno rigoroso e prolongado, surgiu a ideia de complementar este trabalho de investigação com o estudo da secagem de alguns trechos de paredes da fachada do edifício da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV).

O inverno foi de facto bastante rigoroso em termos de precipitação e, portanto, culminou com os revestimentos das fachadas do edifício saturados em humidade. Então, aproveitou-se o aproximar de uma série de dias soalheiros para efetuar o referido estudo.

O ensaio iniciou-se exatamente no dia seguinte ao último dia de chuva. As paredes em estudo foram escolhidas tendo por base alguns parâmetros, tais como, a evidência de humidade, a orientação, assim como a presença de obstáculos que poderiam interferir com a exposição à radiação solar direta. Posteriormente será explicado com mais detalhe o motivo da escolha para cada caso de estudo.

4.2 Materiais/equipamentos

- Câmara termográfica

A câmara termográfica utilizada durante a campanha experimental foi o modelo ThermaCAM E300 da Flir Systems (Figura 4-1.a)) cujas especificações técnicas se encontram detalhadas no Anexo 1. Para que a captação dos termogramas fosse mais rigorosa, optou-se por utilizar um tripé, permitindo assim uma maior estabilização da câmara no momento de captar os termogramas (Figura 4-1.b)).

Os termogramas obtidos foram tratados informaticamente através do *software* FLIR QuickReport 1.2, permitindo toda a análise, processamento e arquivo das imagens capturadas pela câmara.

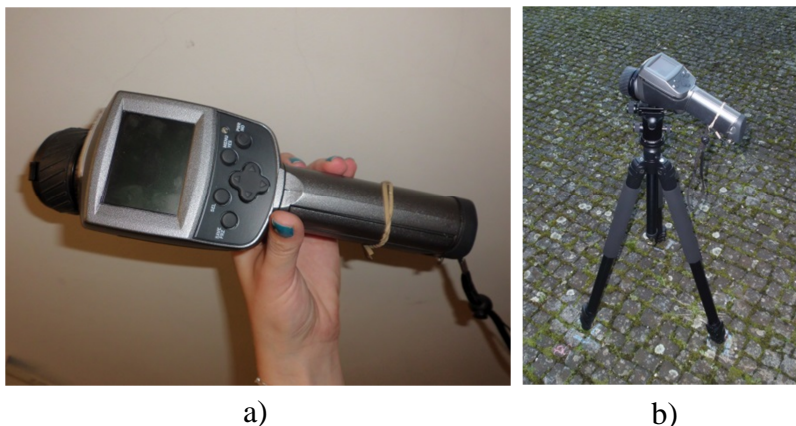


Figura 4-1: Câmara termográfica utilizada. a) Câmara termográfica utilizada; b) Posicionamento da câmara termográfica durante os ensaios experimentais

- Humidímetro

O registo da humidade presente nas paredes foi obtido através da utilização do humidímetro Tramex MRH III (Figura 4-2) cujas especificações técnicas se encontram detalhadas no Anexo 2.



Figura 4-2: Humidímetro utilizado nas medições

Para além dos equipamentos anteriormente referidos foi também necessária a utilização de:

- Máquina fotográfica para se obter o registo fotográfico de todos os elementos relevantes;
- Fita métrica para medir a distância entre a câmara termográfica e a parede;
- Folha de alumínio para apoio à determinação da temperatura refletida;
- Guarda-chuva para criar sombra artificial aquando do registo da temperatura refletida;
- Giz para efetuar no chão as marcações do local exato onde ficou situado o tripé da câmara termográfica, entre medições, assim como marcar nas paredes os pontos onde foram efetuados os registos das humidades.

4.3 Metodologia

O objetivo dos ensaios passou por monitorizar a evolução da secagem de quatro paredes ao longo de seis dias consecutivos, em cinco momentos diferentes do dia, isto é, às 10h, 12h, 14h, 16h e 18h, com recurso a uma câmara termográfica e a um humidímetro. A campanha experimental decorreu durante o fuso horário de inverno, consequentemente a medição das 18h decorreu ao anoitecer.

Durante a campanha experimental seguiu-se sempre a mesma ordem de leituras, iniciando-se com o caso 1, passando depois pelo caso 2, caso 3 e por fim o caso 4, mantendo-se sempre o mesmo intervalo de tempo entre leituras nas diferentes horas do dia. Sendo portanto importante referir que as medições diárias foram iniciadas à hora de referência apenas no caso 1, mas por uma questão de uniformização optou-se por utilizar sempre o mesmo horário na exposição dos resultados.

Com a câmara termográfica tiraram-se cinco termogramas ao longo do dia, designados por termogramas dinâmicos, tentando-se ser o mais rigoroso possível no posicionamento da câmara entre medições. Salienta-se que todos os termogramas apresentados neste capítulo estão à mesma escala de temperatura, mediante cada caso de estudo, assim como a emissividade constante de 0,90.

Apesar de para este estudo apenas ser necessário uma análise qualitativa, aquando do tratamento dos termogramas através do *software* já mencionado, optou-se por inserir todos os parâmetros do objeto de forma a obter-se um maior rigor na análise dos resultados. É importante relembrar que os parâmetros inseridos foram a distância entre a câmara termográfica e a parede, a emissividade, a temperatura refletida, a temperatura atmosférica e a humidade relativa do ar, em cada hora de ensaio.

Os dados relativos à temperatura atmosférica e à humidade relativa do ar foram adquiridos através de uma estação meteorológica presente na ESTGV e serão apresentados no Apêndice 1.

Quanto ao procedimento para a determinação da temperatura refletida, o mesmo foi baseado no manual da câmara termográfica fornecido pela Flir System (2006). Consistindo em cortar uma porção de folha de alumínio com aproximadamente 25 x 30 cm. A qual foi cuidadosamente amarrotada e seguidamente endireitada e fixada com fita-cola junto aos cantos na superfície da amostra a ensaiar. Com a câmara termográfica posicionada a aproximadamente 50 cm, na perpendicular à folha de alumínio e de forma a abranger toda a área, definiu-se no visor da câmara o valor da emissividade (1,0) e tirou-se um termograma. É importante referir que esta medição tem de ser efetuada sem incidência de raios solares de forma direta na folha de alumínio, caso não exista sombra natural deve criar-se sombra artificial. Posteriormente, já no *software* FLIR QuickReport 1.2 e depois de definidos todos os parâmetros do objeto (temperatura atmosférica, humidade relativa e distância), selecionou-se toda a área abrangida pela folha de alumínio, sendo o valor médio dessa mesma área a temperatura refletida da amostra, Figura 4-3.

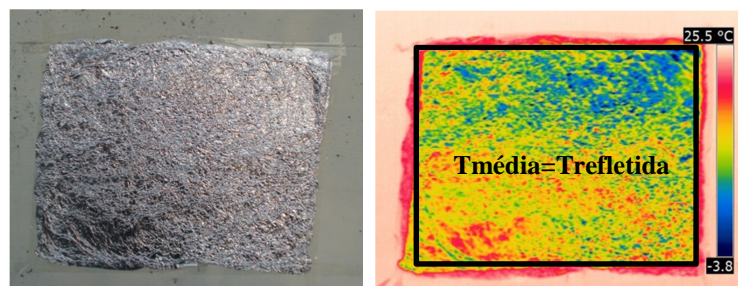


Figura 4-3: Diferentes fases para determinar a temperatura refletida de uma amostra

Para efetuar as leituras de humidade nas paredes optou-se apenas por seleccionar três pontos, visto que eram quatro as paredes em estudo simultâneo e por uma questão de tempo havia a necessidade de simplificar o trabalho. É de realçar que seria benéfico ter realizado mais leituras em mais pontos, pois ter-se-ia uma noção mais completa da evolução da secagem das paredes, contudo não foi possível. Para não existirem equívocos no local de medição, optou-se por marcar nas paredes, utilizando giz, a zona onde se deveriam efetuar as leituras.

O registo do teor de humidade foi obtido utilizando-se o humidímetro e de duas formas distintas, através de contacto com a superfície da parede e com recurso a sondas. O manuseamento do aparelho através de contacto consistiu em simplesmente efetuar um contacto direto entre o aparelho e a superfície da parede (Figura 4-4.a)), a outra maneira consistiu em utilizar as sondas para perfurarem e penetrarem um pouco a superfície da parede (Figura 4-4.b)). Utilizaram-se três escalas diferentes de medição, duas para o humidímetro de contacto e uma para o humidímetro com sondas. Para o primeiro caso, a escala primeiramente utilizada foi “MANSORY”, que nos fornece de forma comparativa a percentagem de humidade superficial em função da área de contacto, sendo que esta varia entre 0 e 99. Em certos casos o equipamento indicava 0, nessas situações foi necessário optar-se por uma escala mais sensível, designada por “DRYWALL”, cuja variação é idêntica à anterior (0 a 99). No que respeita ao segundo caso, utilizou-se a escala “PIN PROBE”, que fornece o teor de humidade percentual. É importante referir que no humidímetro utilizado, esta escala varia entre 7% e 40%. Em alguns pontos de leitura o humidímetro marcava “LO”, que significa que a leitura era demasiado baixa para ser detetada pelo aparelho.

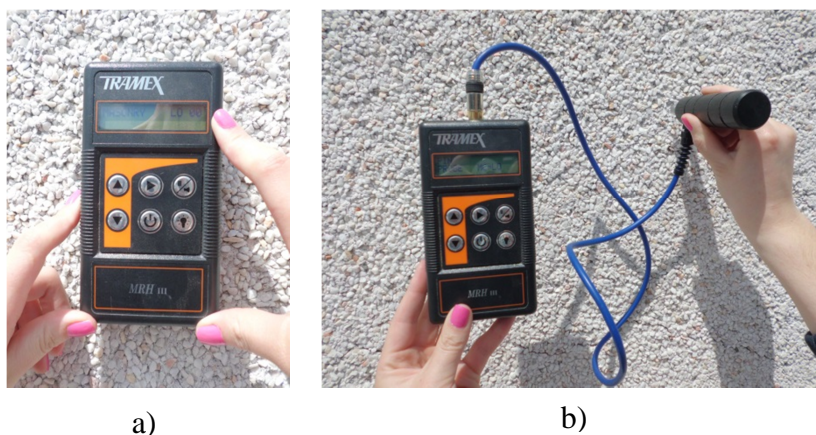


Figura 4-4: Posição do humidímetro durante as duas fases de leituras. a) Humidímetro de contacto; b) Humidímetro com sondas

4.4 Casos de estudo

Como já foi referido anteriormente analisaram-se quatro paredes exteriores do edifício da ESTGV, Figura 4-5, cujo revestimento é em monomassa de pedra projetada. Analisaram-se duas paredes orientadas a sudoeste e duas a noroeste, contudo todas elas têm diferentes comportamentos no que respeita à radiação solar direta que incide sobre cada uma delas, como será explicado posteriormente.



Figura 4-5: Planta da ESTGV com o enquadramento das paredes em estudo

- Condições de ensaio

O ensaio iniciou-se no dia seguinte a um longo período de chuva intensa. Durante a realização das leituras/medições registaram-se as condições climáticas, para uma adequada análise posterior. Assim sendo, para uma melhor compreensão, apresenta-se no Quadro 4-1 um resumo qualitativo das condições climáticas durante os dias em que decorreram os ensaios.

Quadro 4-1: Condições climáticas, referentes a cada dia de ensaio

	Condições climáticas
Dia 1	Céu limpo
Dia 2	Céu limpo, noite anterior de intenso nevoeiro
Dia 3	Céu limpo
Dia 4	Céu limpo
Dia 5	Céu muito nublado
Dia 6	Céu limpo

4.4.1 Caso 1

O caso 1 é referente a uma fachada orientada a sudoeste, Figura 4-6. Salienta-se que o sol apenas incide diretamente na parede, até ao final da manhã, devido à existência de uma parede frontal. A escolha desta parede em detrimento de outra deveu-se ao facto de esta evidenciar presença de humidade junto ao chão.



Figura 4-6: Parede do caso 1 e respetivos pontos para a leitura da humidade

- **Evolução da secagem**

Por uma questão de uniformização e facilidade de comparação apenas se representam graficamente os valores das leituras para a escala “MANSORY”. No entanto, para os valores cuja humidade é zero nesta escala efetuou-se uma nova leitura, utilizando a escala de maior precisão “DRYWALL”. Estes valores estão disponíveis para consulta no Apêndice 1. Refere-se desde já que se adotou o mesmo procedimento para os restantes casos de estudo.

Analisando a Figura 4-7 e a Figura 4-8 é possível verificar que globalmente, em todos os pontos onde se efetuaram leituras ao longo dos seis dias, existe uma acentuada descida da percentagem de humidade em função da área de contacto. Somente se verifica uma exceção no dia 1, em que na totalidade das medições feitas às 16h e em algumas das 18h se verifica um aumento da percentagem de humidade em relação à medição anterior. Tal acontecimento poderá ser explicado tendo em conta a influência de dois fatores, nomeadamente, a humidade proveniente da chuva do dia anterior que continua a fluir pela parede a baixo, em conjugação com o facto de a partir do final da manhã não incidir radiação solar sobre a parede, e portanto não permite que a humidade continue a evaporar, mas sim a acumular-se. Nos restantes dias observa-se uma descida gradual do teor de humidade, onde claramente se pode constatar a secagem da parede.

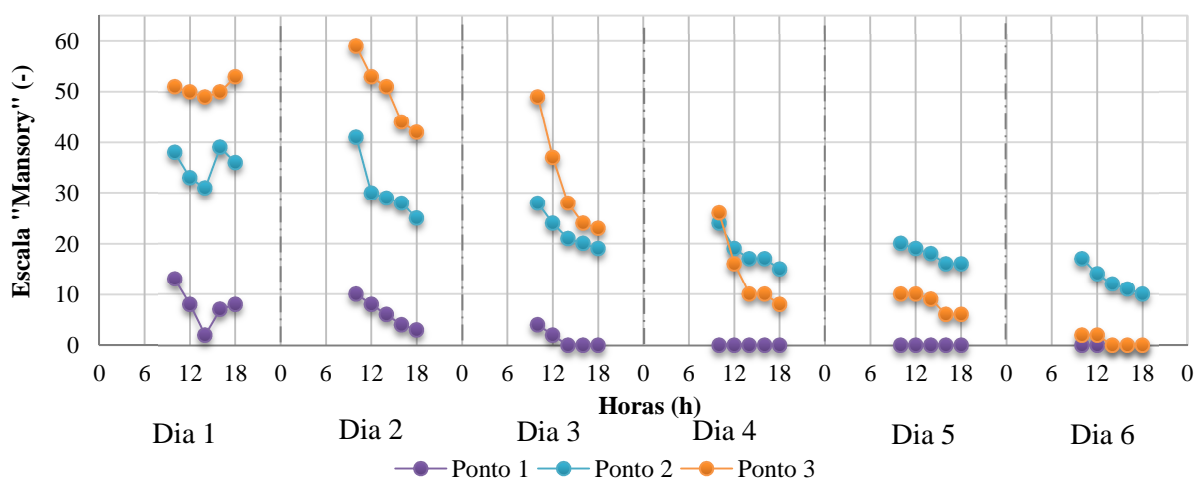


Figura 4-7: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 1, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”

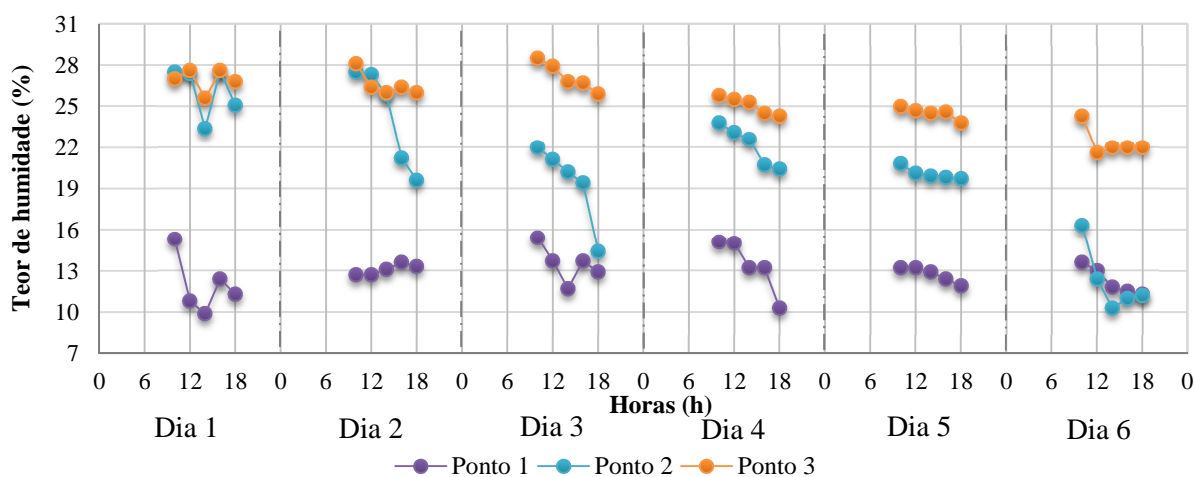


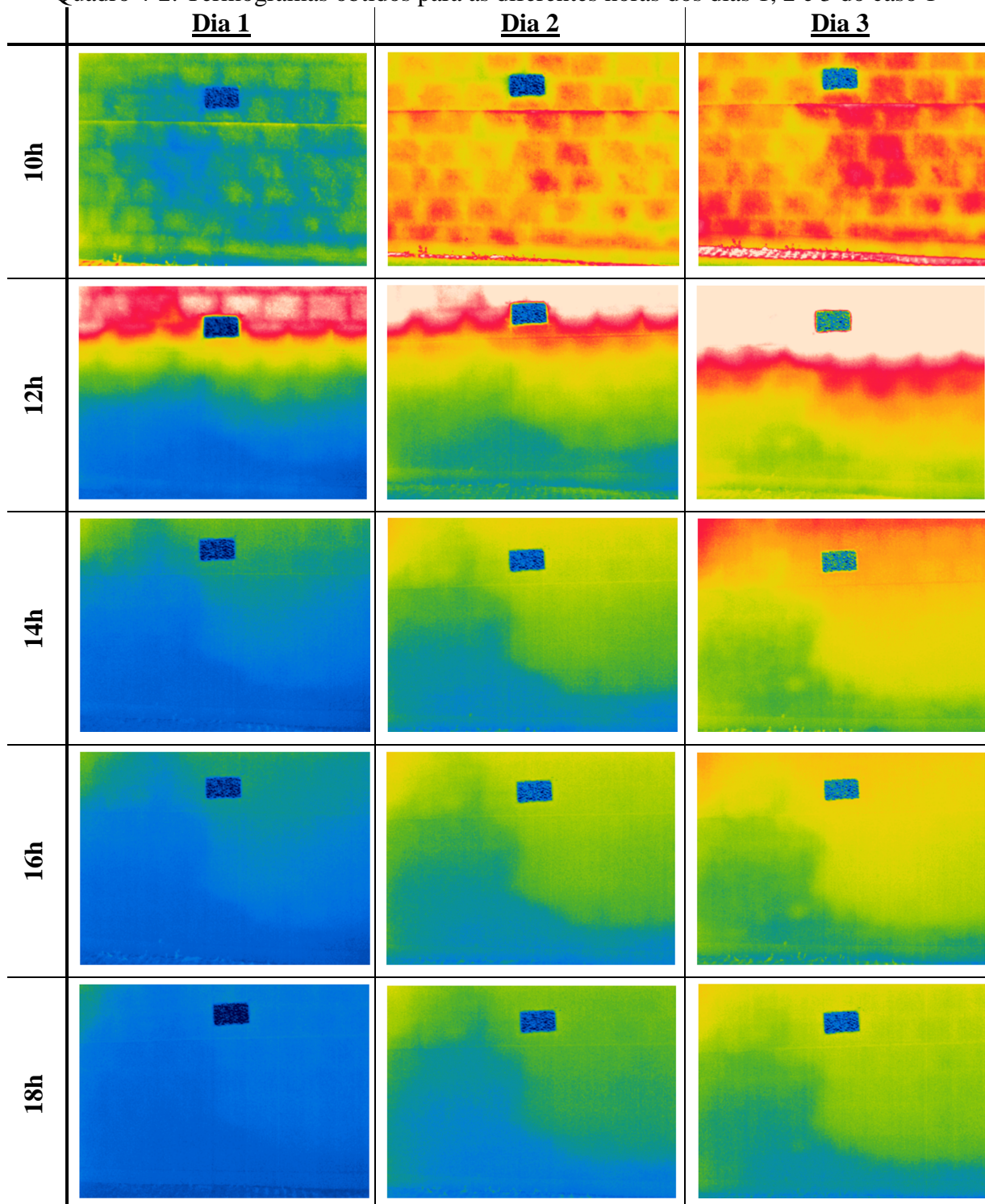
Figura 4-8: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 1, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas

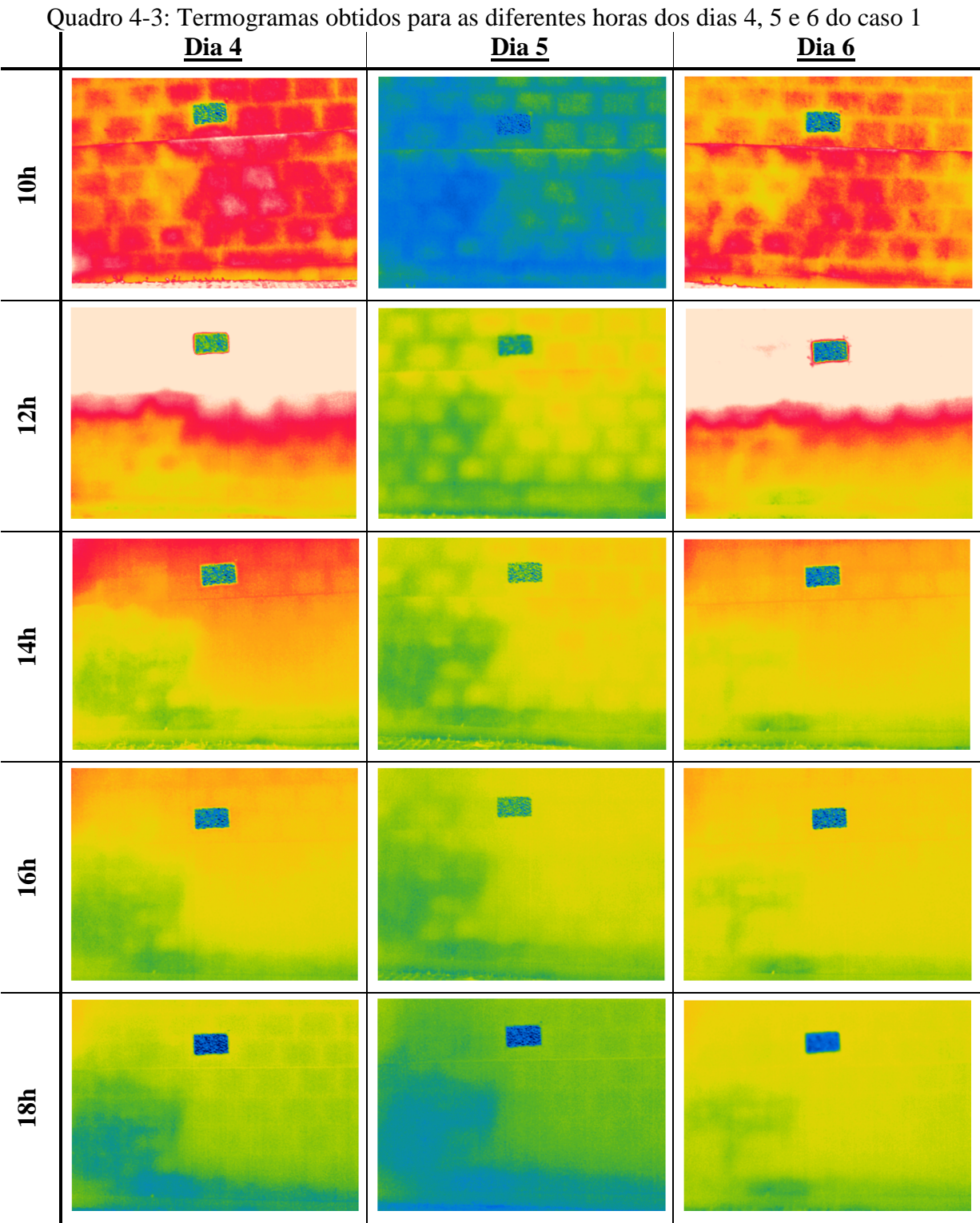
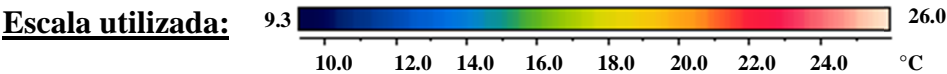
Através da análise conjunta das leituras efetuadas por ambos os métodos, é visível que o comportamento da humidade superficial da parede diminui ao longo dos dias. Constatase também que de uma forma lógica os pontos mais próximos do solo são aqueles que ostentam uma humidade superficial mais acentuada.

- **Termogramas obtidos**

No Quadro 4-2 e no Quadro 4-3 apresentam-se os termogramas tirados à parede do caso 1, ao longo dos seis dias de medições e para as cinco diferentes horas do dia. Salienta-se que a distância de medição entre a câmara termográfica e a parede foi de 4,9 m. A escala de temperaturas utilizada encontra-se representada entre os quadros.

Quadro 4-2: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 1





Ao observar a evolução dos termogramas ao longo dos seis dias é bastante evidente que a temperatura superficial da parede aumentou gradualmente ao longo dos dias, evidenciando assim o efeito de secagem. Visualizando os termogramas das 12h é perfeitamente visível as marcas da radiação solar que incide diretamente na parede, este efeito é representado pelas cores mais quentes. Durante o dia 5 as temperaturas superficiais da parede basicamente não evoluíram de forma favorável à secagem, devido ao facto de o céu ter estado muito nublado.

No sexto dia a parede apresenta basicamente as mesmas gradações de cores, ou seja as mesmas temperaturas superficiais. É visível que o local mais frio da parede é junto ao canto inferior esquerdo dos termogramas, representado pelas cores mais frias (humidade). Focando o olhar nesse local, é evidente a secagem da parede ao longo dos diferentes dias, visto que no último registo do sexto dia o termograma encontra-se bastante homogéneo.

Por último, mas não menos importante, é possível constatar que a parede secou de cima para baixo, facto que se pode comprovar com a análise das Figura 4-7 e Figura 4-8, cujo ponto que apresenta maior teor de humidade é precisamente aquele que se posiciona mais perto do solo, isto é o ponto 3.

4.4.2 Caso 2

O caso 2 é referente a uma fachada orientada a noroeste, Figura 4-9. Nessa fachada é visível a presença de janelas cuja caixilharia é em alumínio termolacado. É de realçar a existência de uma fissura com cerca de 6 mm de espessura, cuja presença foi o principal motivo para a escolha desta parede. No que toca à incidência da radiação solar, esta apenas incide diretamente na parede a partir do início da tarde.



Figura 4-9: Parede do caso 2 e respetivos pontos para a leitura da humidade

- **Evolução da secagem**

Numa primeira análise à Figura 4-10, é visível desde logo uma grande diminuição da percentagem de humidade que o ponto 3 sofreu ao longo dos seis dias de medições. Apura-se também que no final das medições todos os pontos terminam com leituras nulas para a escala “MANSORY”, embora visualizando a tabela que se encontra no Apêndice 1 é possível

constatar que o ponto 1 é aquele que evidencia menos humidade, seguido do ponto 2 e por fim do ponto 3.

Na Figura 4-11 é de destacar a terceira leitura do dia 6, uma vez que não apresentou qualquer valor, visto que o humidímetro registou apenas “LO”.

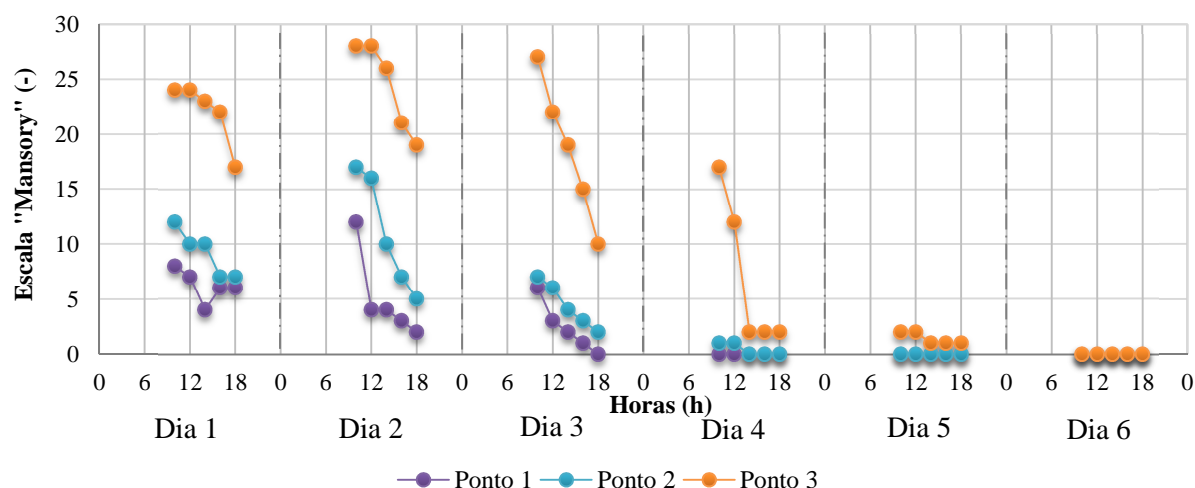


Figura 4-10: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 2, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala “MANSORY”

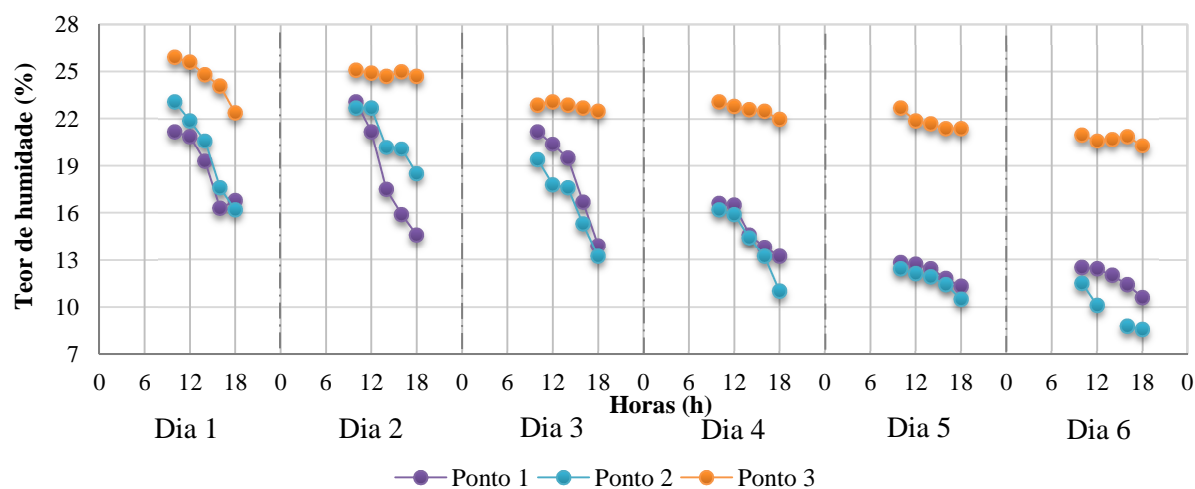


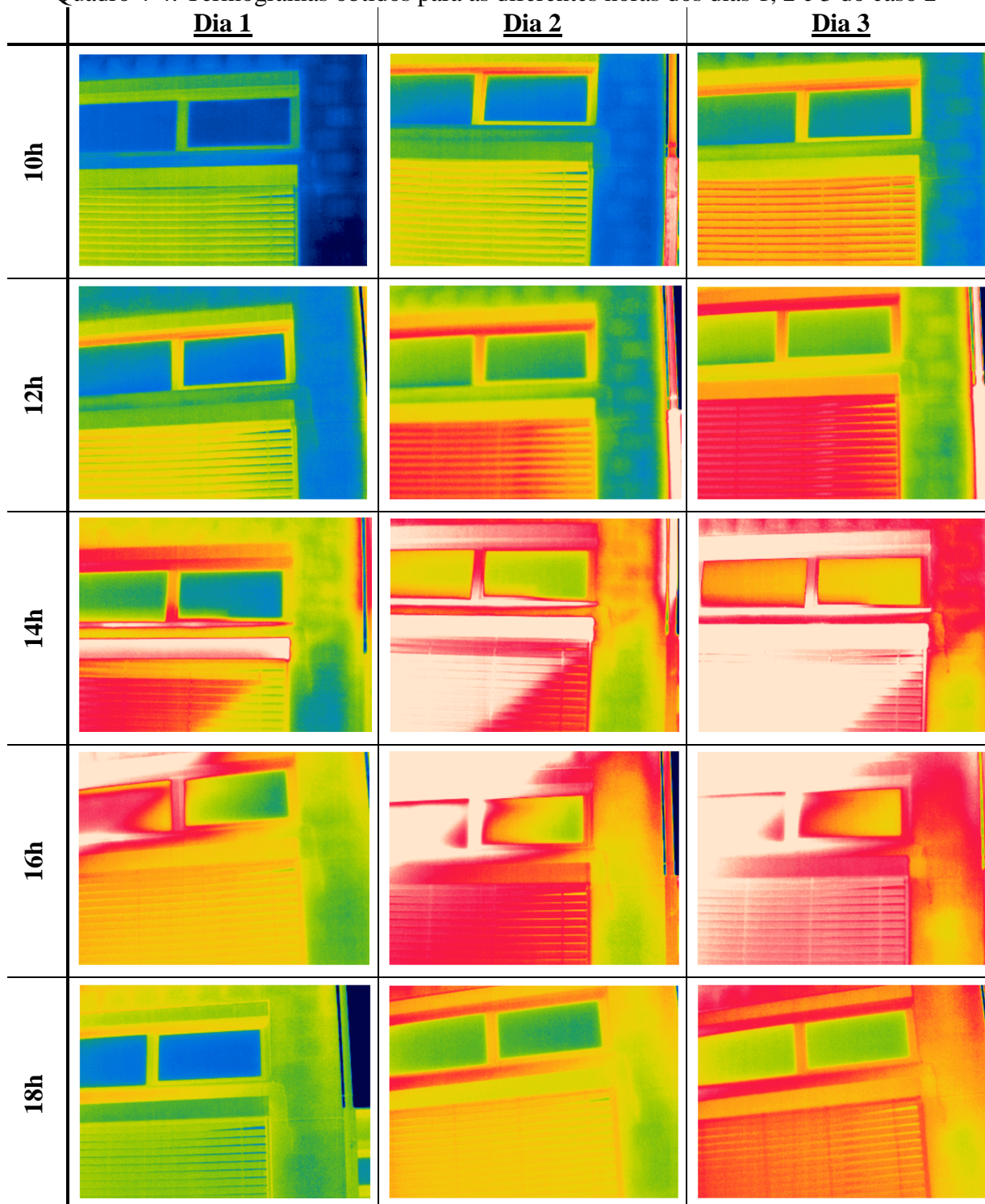
Figura 4-11: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 2, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas

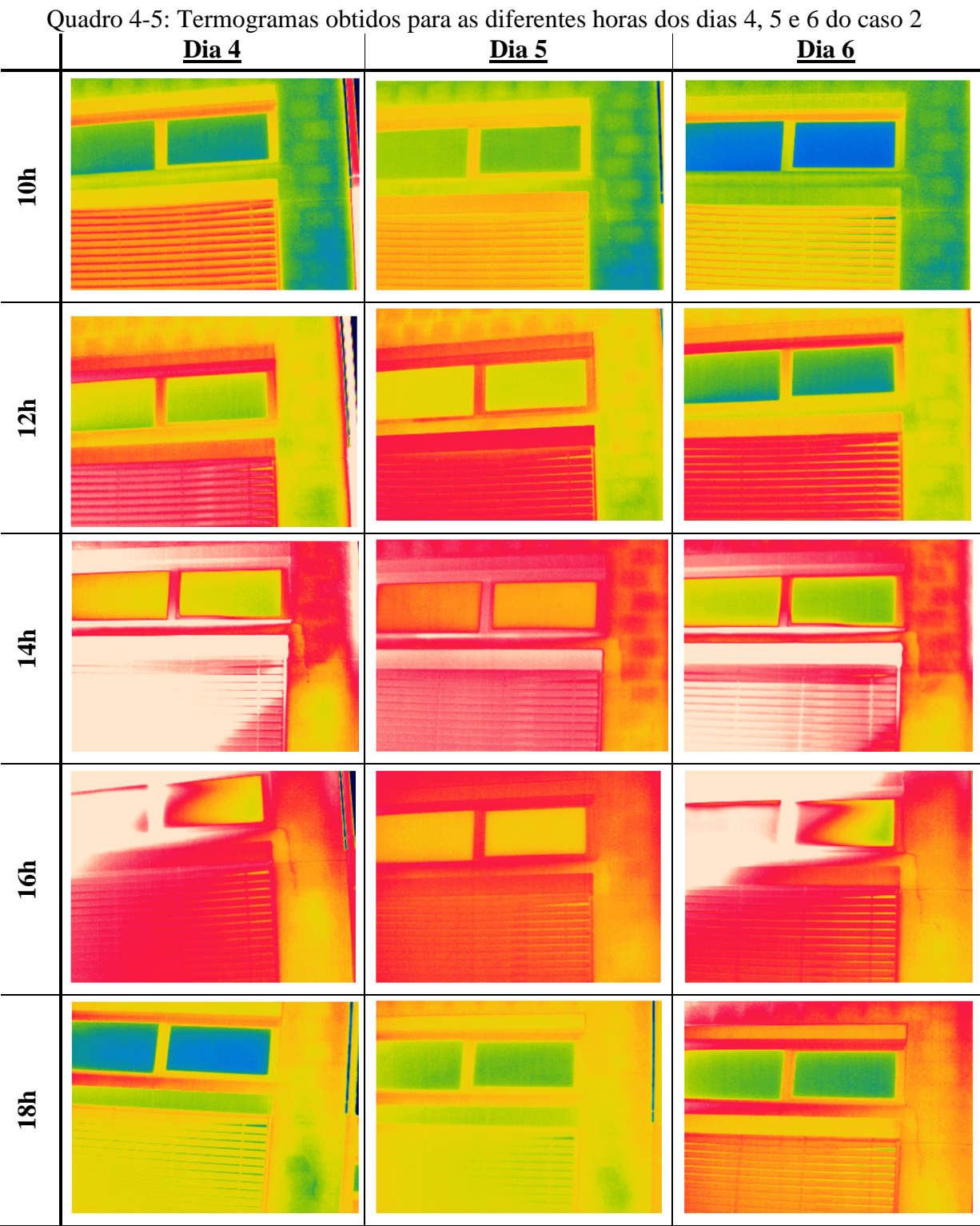
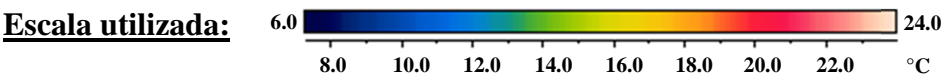
De uma forma geral e observando a evolução de ambos os gráficos é possível verificar que a percentagem do teor de humidade diminuiu de uma forma gradual, sem apresentar grandes oscilações. É possível concluir também que os pontos 1 e 2 apresentam teores de humidade muito semelhantes.

- **Termogramas obtidos**

No Quadro 4-4 e no Quadro 4-5 apresentam-se os termogramas tirados à parede do caso 2, ao longo dos seis dias de medições e para as cinco diferentes horas do dia. Salienta-se que a distância de medição entre a câmara termográfica e a parede foi de 6,0 m. A escala de temperaturas utilizada encontra-se representada entre os quadros.

Quadro 4-4: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 2





A existência de materiais como os caixilhos das janelas, as persianas e os envidraçados, estes últimos são bastante característicos pelas reflexões, afetaram um pouco a escala das medições.

Junto ao peitoril da janela é possível visualizar uma fissura, que por vezes não se encontra visível nos termogramas. Quando esta se torna visível, sobretudo nos termogramas da parte da tarde, encontra-se representada pelas cores mais quentes.

Nos registos das 14h e no das 16h torna-se nítida a evolução da radiação solar ao longo da fachada, excetuando no dia 5, devido à elevada nebulosidade.

De uma forma geral, e ao longo dos vários dias de estudo, constata-se um aumento considerável das temperaturas superficiais da fachada.

4.4.3 Caso 3

O caso 3 é referente a uma fachada orientada a noroeste, Figura 4-12. Optou-se por monitorizar a secagem desta parede pelo facto de esta apresentar manchas de humidade, assim como algumas manchas de sujidade, aliando também o importante fator da falta de incidência de radiação solar direta sobre a parede. Assim, ao contrário dos exemplos anteriores, a secagem desta parede ocorre sem o efeito da incidência de radiação solar direta.

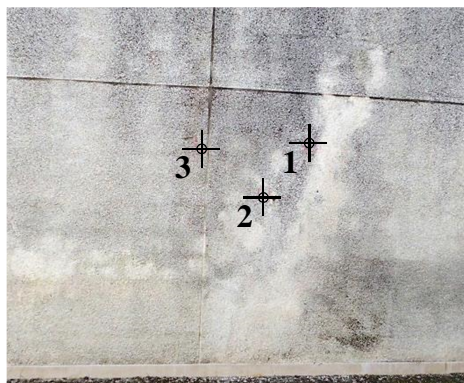


Figura 4-12: Parede do caso 3 e respetivos pontos para a leitura da humidade

- **Evolução da secagem**

Visualizando a Figura 4-13 facilmente se compreende que no dia 1, na primeira medição do ponto 3, esta apresenta a leitura mais baixa do dia. Este registo é algo inesperado, uma vez que este valor deveria ser o mais elevado. Tal situação ocorreu, possivelmente, devido a um erro na colocação/manuseamento do humidímetro, visto que apenas acontece nas leituras registadas com o humidímetro de contacto. No dia 2 verifica-se que as primeiras leituras do dia são superiores às do dia 1, este fenómeno, já observado nos casos anteriores, pode ser em parte explicado pelo intenso nevoeiro que se registou durante a noite.

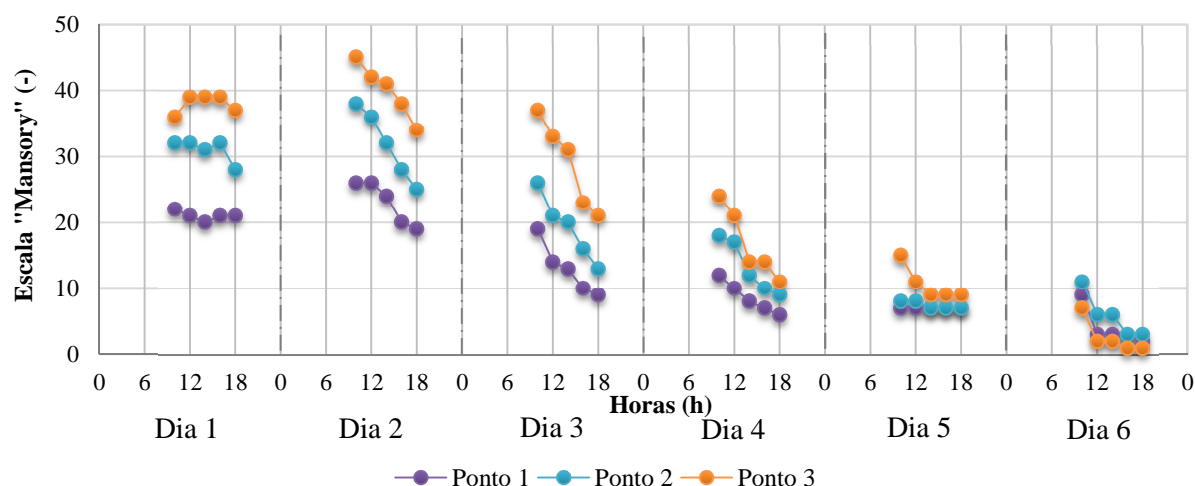


Figura 4-13: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 3, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala "MANSORY"

Analisando a Figura 4-14, constata-se que a partir do segundo dia os pontos 1 e 2 apresentam um teor de humidade muito semelhante. O facto de o ponto 3 estar próximo de uma junta de esquadramento, poderá ter acelerado o processo de secagem.

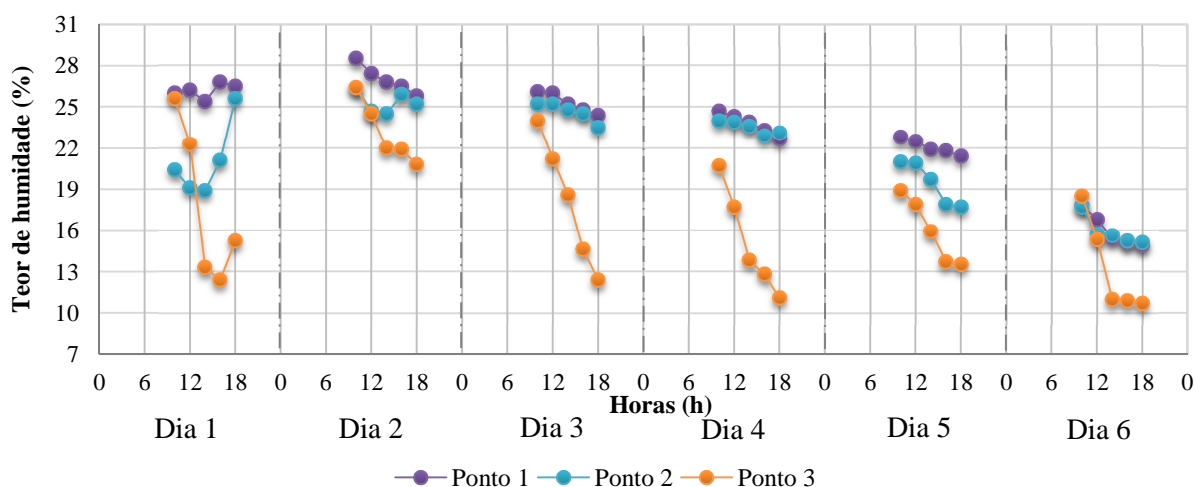


Figura 4-14: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 3, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas

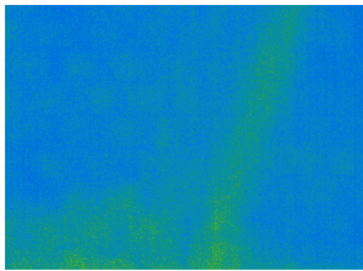
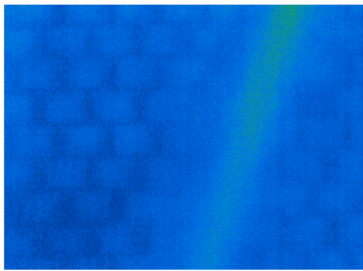
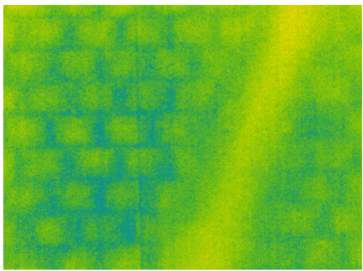
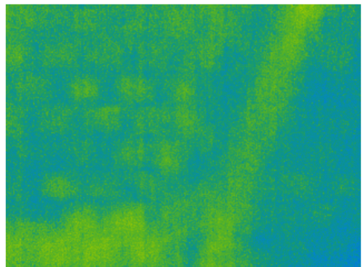
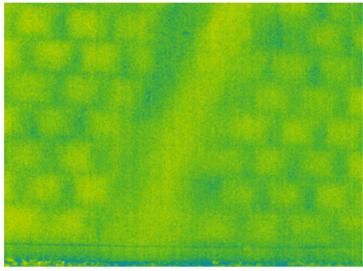
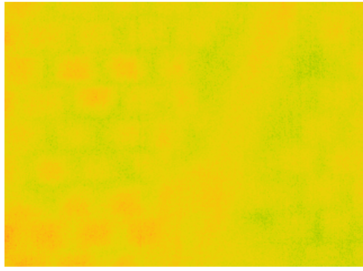
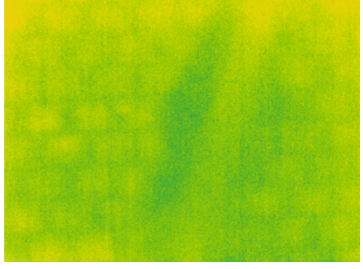
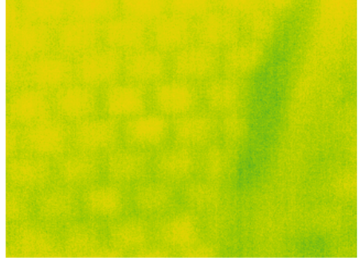
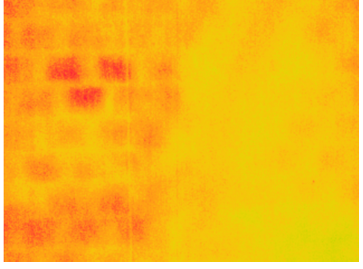
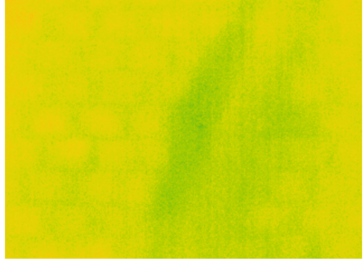
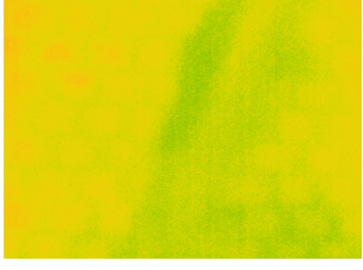
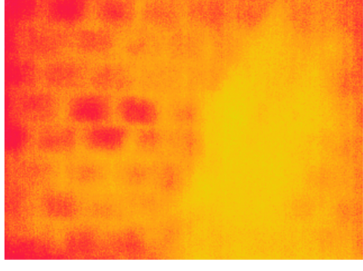
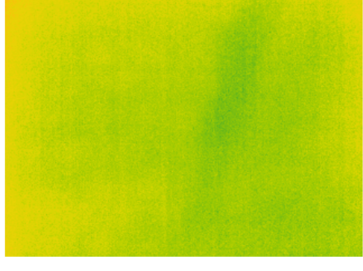

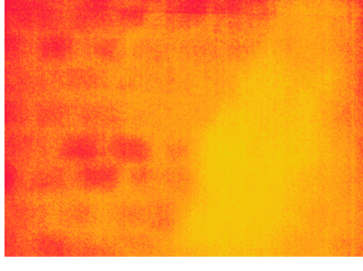
Através da análise gráfica dos dois métodos de ensaio é possível observar os diferentes comportamentos do ponto 3, visto que na Figura 4-13 apresenta-se como sendo o ponto com a maior percentagem de humidade, mas na Figura 4-14 já se apresenta como sendo o que tem menor. Estas diferentes leituras poderão ser explicadas tendo por base as diferenças de procedimento na realização de cada uma das leituras.

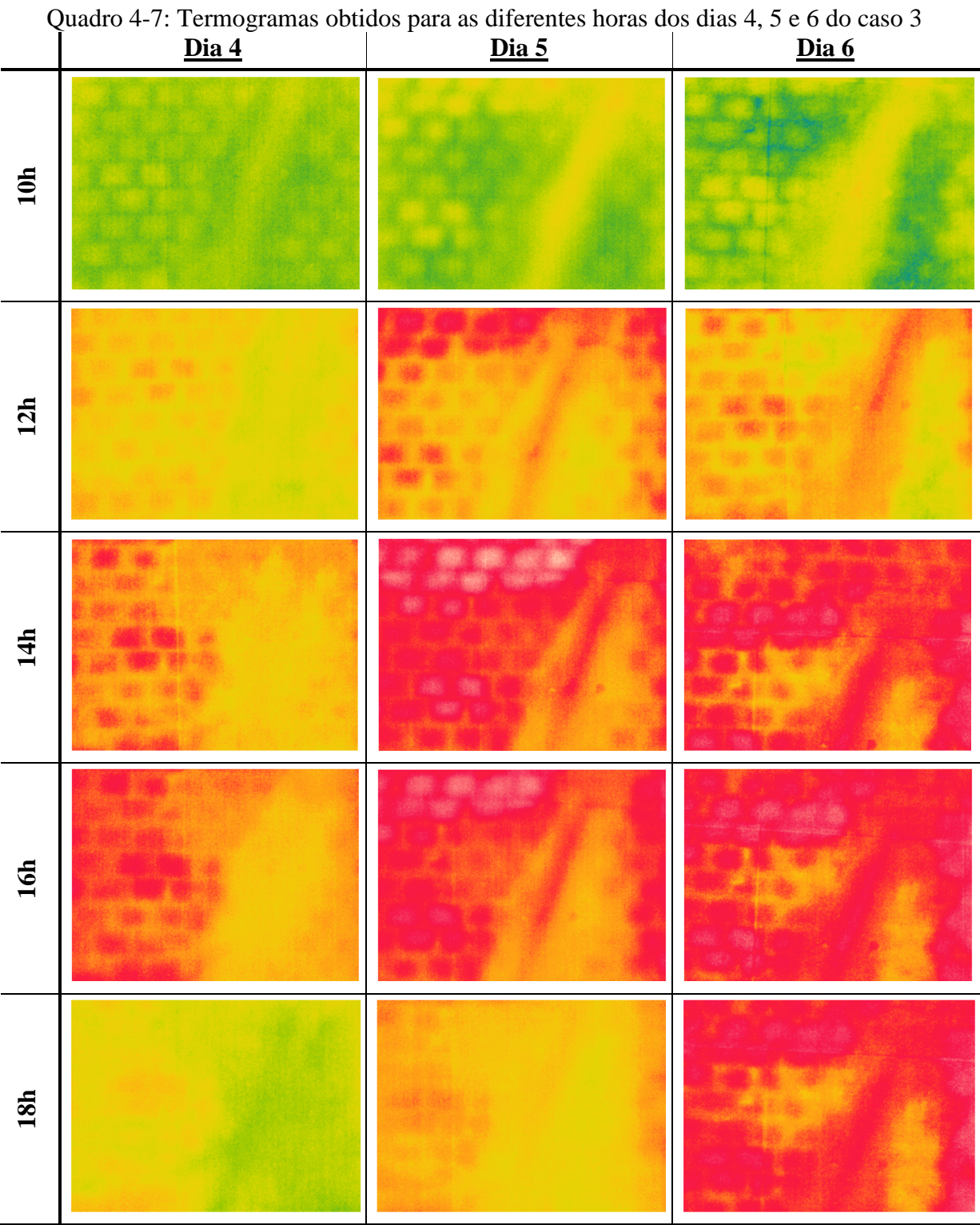
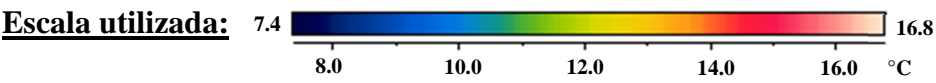
Por fim, refere-se que para uma melhor análise deste estudo, seria adequado colocar o ponto 3 localizado mais perto do solo, visto que é aí onde por norma se acumula mais humidade.

- **Termogramas obtidos**

No Quadro 4-6 e no Quadro 4-7 apresentam-se os termogramas tirados à parede do caso 3, ao longo dos seis dias de medições e para as cinco diferentes horas do dia. Salienta-se que a distância de medição entre a câmara termográfica e a parede foi de 5,6 m. A escala de temperaturas utilizada encontra-se representada entre os quadros.

Quadro 4-6: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 3

	<u>Dia 1</u>	<u>Dia 2</u>	<u>Dia 3</u>
10h			
12h			
14h			
16h			
18h			



Conforme é possível constatar na observação dos termogramas da parede do caso 3, existe uma grande evolução da secagem, comprovada pelo aumento gradual da sua temperatura superficial, evidenciada nos termogramas pelas cores mais quentes.

Contrariamente aos restantes casos de estudo, no caso 3 a interferência da elevada nebulosidade existente no dia 5 passa despercebida, notando-se assim um aumento da temperatura superficial da parede neste dia, assim como o continuar da evolução da secagem da parede.

Na Figura 4-12 pode observar-se as diferentes tonalidades no revestimento da parede, essas diferenças são visíveis nos termogramas, estando representadas maioritariamente por cores mais quentes.

4.4.4 Caso 4

O caso 4 é referente a uma fachada orientada a sudoeste, Figura 4-15. Devido à parede não possuir obstáculos frontais, é a única que recebe radiação solar de forma direta praticamente durante todo o dia, excetuando o registo das 18h, visto que começa a anoitecer, tornando-se assim nos principais motivos da escolha desta parede.



Figura 4-15: Parede do caso 4 e respetivos pontos para a leitura da humidade

- **Evolução da secagem**

Ao observar a Figura 4-16 é possível verificar que a partir do dia 2, os pontos 1 e 2 apresentam percentagens de humidade nulas para a escala “MANSORY” embora se tenha continuado a efetuar as leituras através da escala “DRYWALL”, valores esses que apenas estão apresentados no Apêndice 1. Consultando esses mesmos valores é possível verificar que o comportamento do ponto 1 e 2 é muito semelhante, embora no final, o ponto 1 seja aquele que evidencie a menor percentagem de humidade.

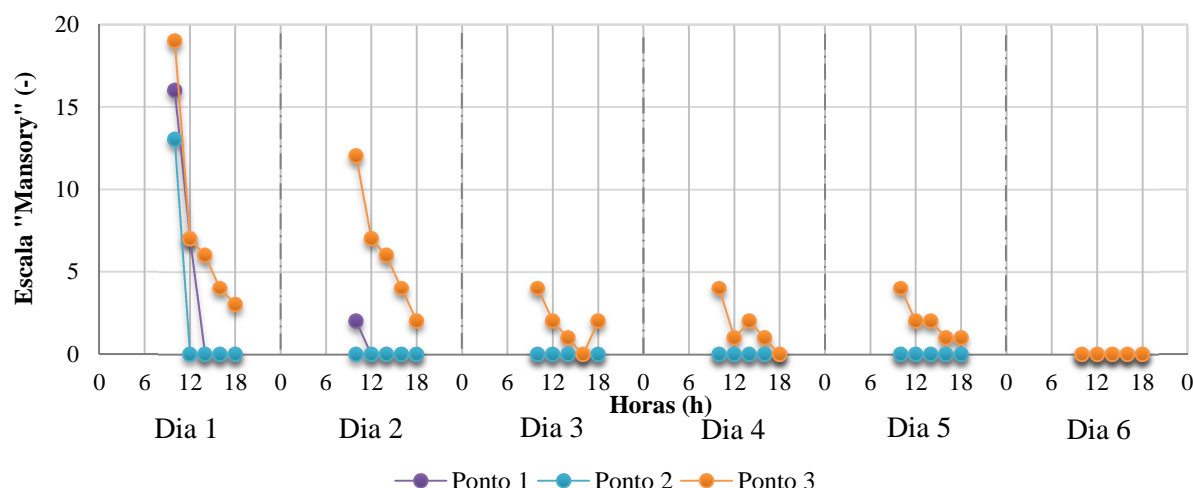


Figura 4-16: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 4, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro de contacto, para a escala "MANSORY"

Analisando a Figura 4-17, verifica-se que apenas foi possível o registo contínuo com o humidímetro com sondas, para todos os pontos nos dias 1 e 2. A partir do dia 3, o ponto 2 por vezes evidenciou a existência muito baixa/inexistência de teor de humidade, visto que o equipamento marcava "LO", daí a inexistência de leituras contínuas para este ponto.

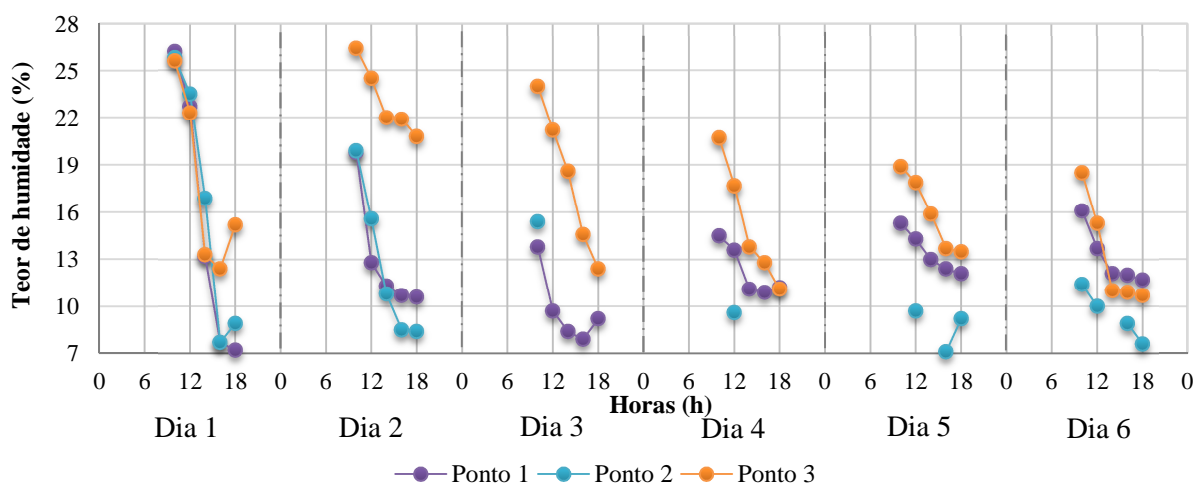


Figura 4-17: Gráfico da evolução da secagem da parede do caso 4, ao longo dos seis dias com as leituras realizadas com o humidímetro com sondas

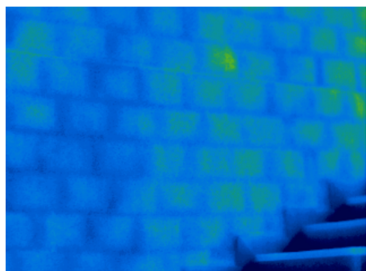

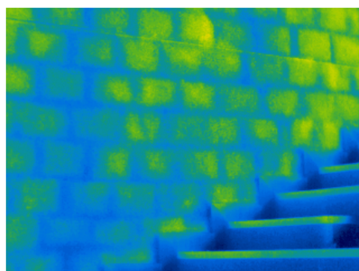
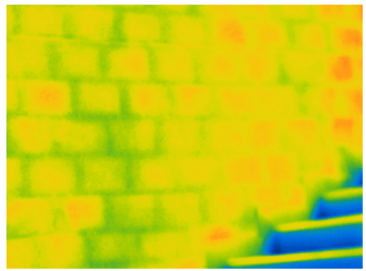
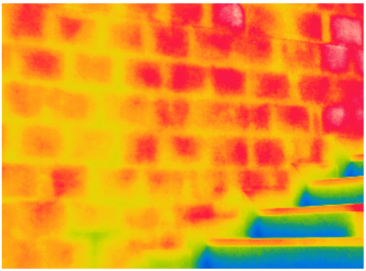
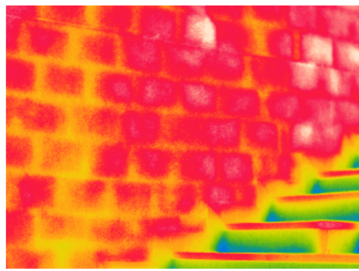
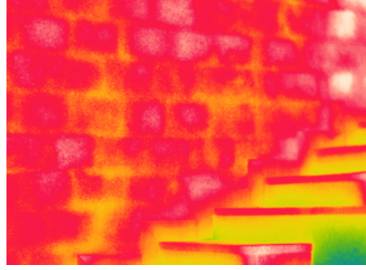


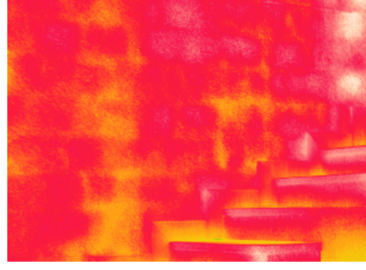


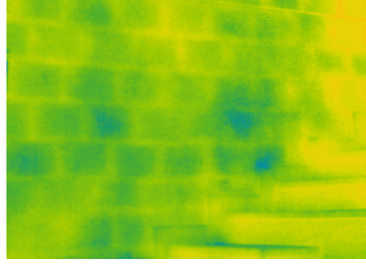
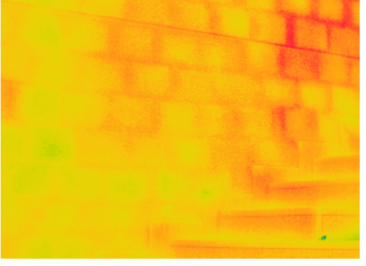
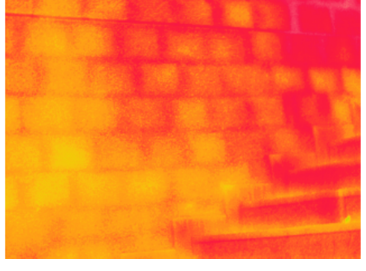
Como seria expetável o ponto 3 é aquele que apresenta maior teor de humidade, pois é o ponto que fica mais próximo do chão, local onde se acumula a maior quantidade de água.

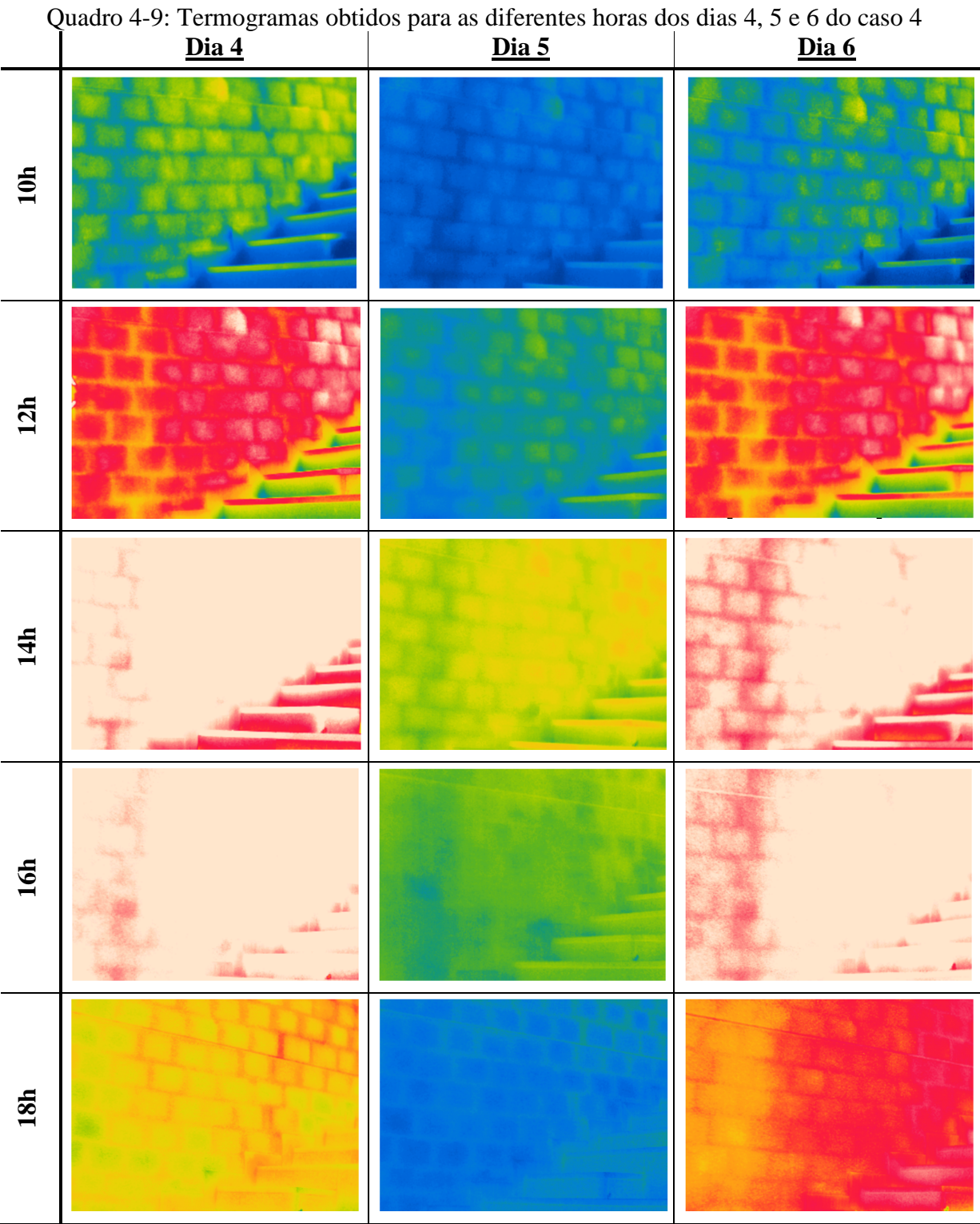
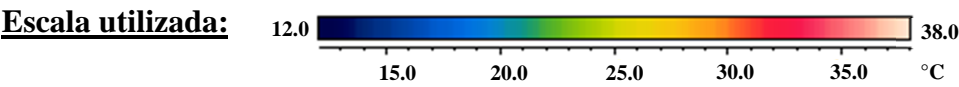
A rápida secagem da parede relativamente ao observado nos restantes casos de estudo deveu-se muito provavelmente ao facto de esta receber radiação solar direta durante praticamente todo o dia.

- **Termogramas obtidos**

No Quadro 4-8 e no Quadro 4-9 apresentam-se os termogramas retirados à parede do caso 4, ao longo dos seis dias de medições e para as cinco diferentes horas do dia. É importante salientar que a distância de medição entre a câmara termográfica e a parede foi de 4,2 m. A escala de temperaturas utilizada encontra-se representada entre os quadros.

Quadro 4-8: Termogramas obtidos para as diferentes horas dos dias 1, 2 e 3 do caso 4

	<u>Dia 1</u>	<u>Dia 2</u>	<u>Dia 3</u>
10h			
12h			
14h			
16h			
18h			



Analizando a evolução dos termogramas desta parede é possível constatar que devido a esta receber radiação solar durante basicamente todo o dia, fez com que a escala de temperatura aumentasse, daí a grande diferença visível no dia 5, cujas temperaturas superficiais se apresentam consideravelmente mais baixas, devido à elevada nebulosidade, passando a ideia de que a secagem da parede neste dia em nada evoluiu. Esta incerteza é facilmente posta de parte, visto que de acordo com a análise gráfica verifica-se uma diminuição do teor de humidade neste dia.

Globalmente destacam-se as medições das 14h e das 16h, como sendo aquelas que atingem temperaturas superficiais mais elevadas. De uma forma geral observa-se uma grande diferença entre os termogramas tirados no primeiro dia e os que foram tirados no último dia.

4.5 Considerações finais

Através de uma análise global aos gráficos dos diferentes casos de estudo, excetuando o caso 4, constatou-se que as primeiras leituras do dia 2 eram maioritariamente mais elevadas que as do primeiro dia, este acontecimento pode dever-se ao facto de à hora desse mesmo ensaio, o ambiente apresentar uma elevada humidade relativa do ar (Apêndice 1), assim como durante a noite anterior ter-se verificado um nevoeiro intenso.

Em termos comparativos foi evidente a diferença verificada no dia 5, devido à elevada nebulosidade existente durante todo o dia, em que as paredes que recebiam radiação solar direta apresentaram uma descida bastante notória das temperaturas superficiais, enquanto na parede do caso 3, que nunca recebia, observou-se um aumento das temperaturas superficiais, evidenciando assim o efeito da secagem.

O caso 4 é aquele que evidencia uma secagem mais rápida ao longo dos seis dias de medição, tal facto poderá dever-se essencialmente ao elevado número de horas de exposição direta à radiação solar.

Por vezes ocorreram pequenas oscilações pontuais durante as medições realizadas aos teores de humidade dos diferentes casos, que poderão ter ocorrido devido ao incorreto manuseamento do humidímetro na altura da medição, embora se tenha tentado ser o mais coerente possível.

É importante enunciar que o método do humidímetro de contacto talvez seja o mais adequado para este estudo, pois permite avaliar uma área de contacto, enquanto com o humidímetro com sondas apenas se avaliam pequenos pontos da superfície da parede. Porém salienta-se que ambos os métodos são bastante sensíveis à pressão exercida aquando da realização dos ensaios.

Comparando o ensaio termográfico com as leituras realizadas com o humidímetro é possível atestar, que globalmente os pontos onde se evidenciava uma maior percentagem de humidade foram aqueles aonde nos termogramas ficaram representados pelas cores mais frias.

5. Análise de sensibilidade

5.1 Considerações iniciais

Este capítulo encontra-se subdividido em duas fases experimentais, designadas por casos de estudo *in situ* e em laboratório. Primeiramente serão abordados os casos de estudo realizados *in situ*, através do estudo da variação da temperatura superficial de vários materiais presentes nas fachadas do edifício da ESTGV, ao longo de diferentes períodos do dia. A segunda fase consistiu em selecionar uma pequena variedade de objetos, com diferentes valores de emissividades, e expô-los a condições de ambiente externo, como se de um estudo laboratorial se tratasse. O objetivo de ambas as campanhas experimentais passa por efetuar uma análise de sensibilidade, recorrendo a três equipamentos de medição de temperaturas superficiais e analisar as diferenças existentes entre eles. Transversalmente a todos os casos de estudo realizados, e de modo a uma melhor compreensão acerca da interferência que a emissividade provoca na temperatura, optou-se ainda por, através do *software* FLIR QuickReport 1.2, fazer variar os valores da emissividade, para todas as distâncias, e visualizar qual o comportamento da temperatura.

5.2 Materiais/equipamentos

Neste estudo experimental foram utilizados todos os materiais/equipamentos referidos no ponto 4.2, à exceção do humidímetro. Foram ainda utilizados os seguintes equipamentos:

- Termómetro de infravermelhos (TI)

Utilizou-se um termómetro de infravermelhos (TI) da Fluke, modelo 561 (Figura 5-1) cujas especificações técnicas se encontram detalhadas no Anexo 3. Este destina-se a determinar a temperatura superficial dos materiais em estudo, medindo a quantidade de energia infravermelha por eles irradiada, sem que haja necessidade de contacto entre os materiais e o aparelho, aquando das medições. As medições foram realizadas a sensivelmente 10 cm da superfície em análise.



Figura 5-1: Termómetro infravermelho utilizado

- Termopares do tipo T

Utilizaram-se termopares do tipo T, devido a estes apresentarem uma maior exatidão em relação a outro tipo de termopares.

Os termopares foram colados à superfície dos materiais em estudo com fita adesiva de alumínio, esta fita tem como principais características o facto de poder ser aplicada onde haja reflexões de calor, dissipação e reflexão de luz.

Para efetuar os registos e aquisição dos dados provenientes dos termopares foram utilizados dois tipos de *data logger's*, o *Data Logger Pico TC-08* cujos sinais analógicos eram transmitidos através de uma porta RS232 (Figura 5-2.a)) para o computador e o *data logger Pico TC-08* cujos sinais analógicos eram transmitidos através de uma porta USB para o computador (Figura 5-2.b)). Ambos os aparelhos quando conectados a um computador permitiam que os dados fossem adquiridos através do *software PicoLog Recorder* (PicoLog Technology). Os dados foram registados com um intervalo de 1 segundo. Refere-se também, que foram utilizados dois tipos de *data logger's* porque aquando das campanhas experimentais realizadas, o *data logger* que primeiramente foi utilizado não se encontrava disponível.

As especificações técnicas de ambos os *data logger's* encontram-se detalhadas no Anexo 4.

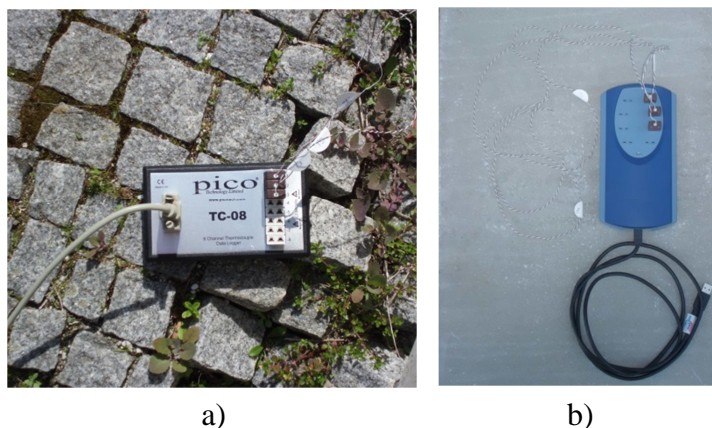


Figura 5-2: *Data logger's* utilizados nas medições. a) *Data logger* TC-08 com interface RS232; b) *Data logger* TC-08 com interface USB

5.3 Metodologia

O objetivo desta campanha experimental consistiu em medir a temperatura superficial de diferentes revestimentos, situados no exterior, utilizando para tal, um termómetro de infravermelhos, termopares do tipo T e uma câmara termográfica, com o intuito de se comparar os valores medidos em diferentes períodos do dia e a diferentes distâncias.

Antes de se dar início à campanha experimental, definiram-se e marcaram-se no pavimento as distâncias a que se iriam tirar os termogramas. Para se dar início ao registo das temperaturas superficiais, procedeu-se à montagem dos termopares nos respetivos pontos de medição e conectaram-se ao computador para se iniciar a aquisição dos dados. Posteriormente tiraram-se os termogramas às distâncias pretendidas e por fim, com o termómetro de infravermelhos registaram-se as temperaturas pontuais. Salienta-se que, com o termómetro de infravermelhos foram efetuados cinco registos da temperatura e posteriormente procedeu-se a um cálculo da média para ajustar a temperatura. A aquisição de dados por parte dos termopares foi registada ao segundo e terminou apenas quando se deu por concluído o registo de temperaturas com os outros dois equipamentos. No final foi efetuada a média desses mesmos valores para serem considerados como temperaturas superficiais tiradas com os termopares.

Para atingir os objetivos propostos, nomeadamente avaliar as diferenças na temperatura superficial medida com os três equipamentos, consideraram-se três situações de distinta luminosidade, sendo elas ao sol, à sombra e à noite e fez-se também variar a distância entre a câmara termográfica e as superfícies em análise, permitindo assim compreender qual a influência que estes fatores podem causar nas medições. Procedeu-se a uma análise quantitativa dos termogramas, ou seja, foram introduzidos todos os parâmetros referentes a cada objeto. Refere-se também que nos termogramas apresentados neste capítulo, por uma questão de homogeneidade, considerou-se uma emissividade de 0,90. Relativamente à temperatura refletida, esta foi determinada separadamente para cada uma das situações de

ensaio de cada caso de estudo. É ainda importante salientar que aquando do tratamento dos dados no *software* FLIR QuickReport 1.2, foi considerada a emissividade referente a cada um dos materiais em estudo.

Para a obtenção dos valores da emissividade dos objetos em análise, inicialmente tentou-se recorrer ao método da fita isolante preta, mencionado no ponto 2.2.4.1, mas depois de algumas experiências que se mostraram ser pouco conclusivas, devido às baixas oscilações que a alteração da emissividade provocava na temperatura do elemento, optou-se por recorrer a bibliografias existentes com valores da emissividades para os diferentes tipos de materiais, como Barreira (2004), Adendo (s.d.), Mendonça (2005b) e Testo (2012) e assumiram-se assim os valores da emissividade.

Numa última fase, recorrendo ao *software* FLIR QuickReport 1.2 e utilizando os termogramas tirados para cada caso de estudo, foi efetuada uma variação dos valores da emissividade, entre 0,1 e 1,0, para avaliar a influência que estes têm nas temperaturas superficiais de cada material em estudo.

Por uma questão de facilitar a análise dos resultados, ao longo deste texto as designações a), b) e c) referem-se às medições realizadas durante a incidência direta da radiação solar, à sombra e em condições noturnas, respetivamente.

5.4 Casos de estudo *in situ*

Todos os casos de estudo foram realizados no interior do campus da ESTGV, optando-se por escolher locais de estudo em que fosse possível abranger o maior número de materiais diferentes.

É de referir que a campanha experimental foi em parte condicionada pelas condições climáticas adversas, visto que não era possível a realização de ensaios perante a ocorrência de chuva.

5.4.1 Caso 1

O caso 1 consistiu em avaliar três materiais diferentes, com emissividades distintas, que faziam parte de uma fachada do edifício da ESTGV. Os três materiais foram numerados, correspondendo o número 1 a alumínio termolacado pintado de verde, o número 2 ao revestimento da fachada do edifício, sendo ela em monomassa de pedra projetada e por último o número 3 a um mármore lioz claro, como é possível observar na Figura 5-3.

Esta campanha experimental realizou-se no dia 19 de março de 2014, iniciando-se a situação a) às 12:30h, a situação b) às 17:45h e por fim a situação c) às 19:30h.

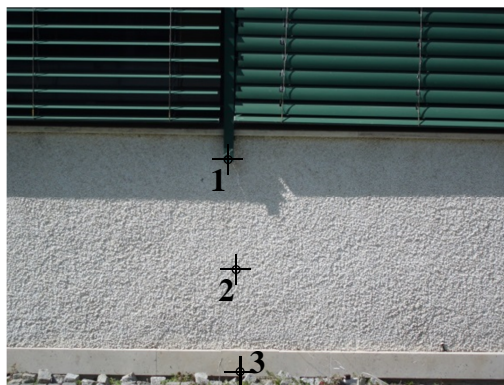


Figura 5-3: Materiais em estudo no caso 1

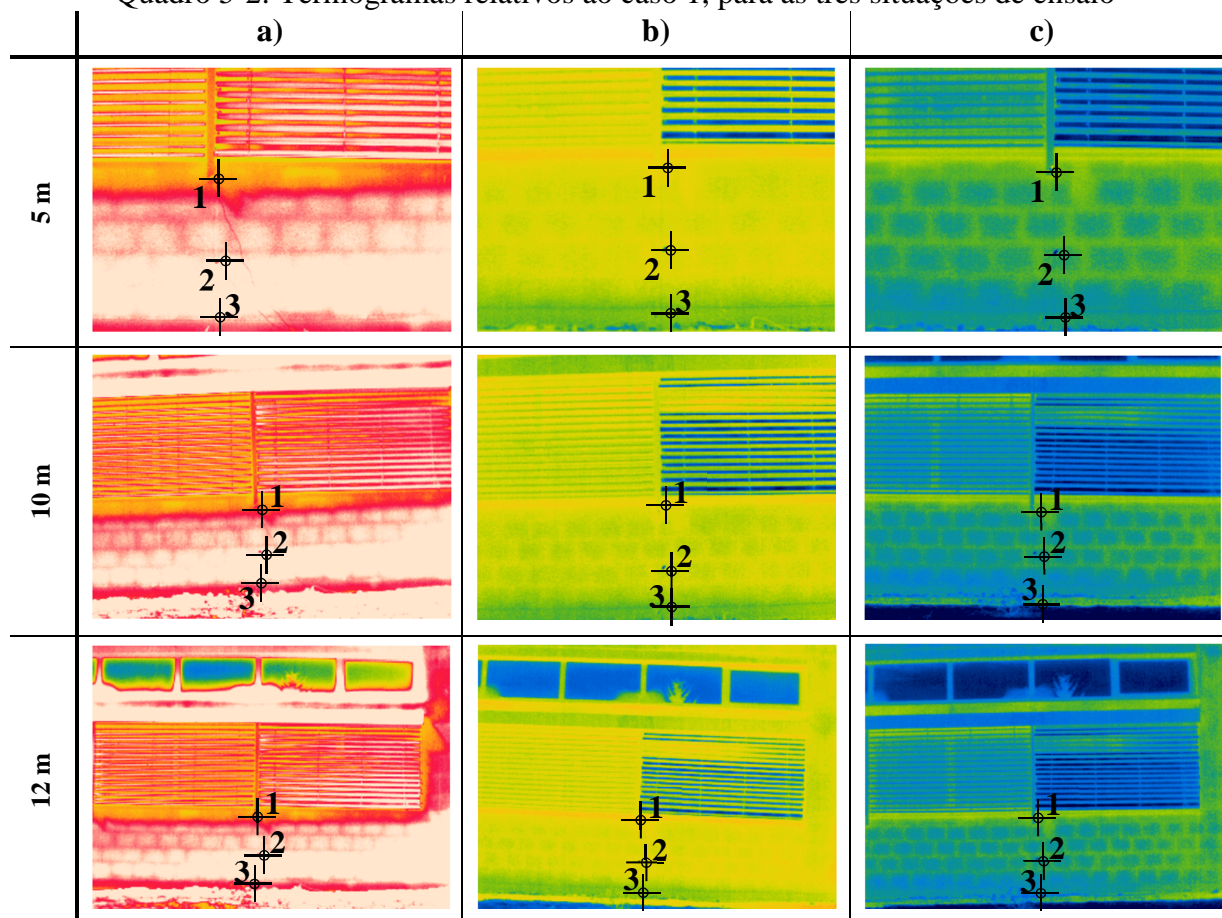
No Quadro 5-2 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, onde se optou por fazer variar as distâncias a 5; 10 e 12 m. Os parâmetros utilizados aquando do tratamento dos termogramas no *software* estão representados no Quadro 5-1. Com o intuito de se tornar mais fácil a análise visual dos resultados obtidos, optou-se por se apresentar a sequência de termogramas à mesma escala de temperaturas.


Os valores das emissividades para os diferentes materiais foram consultados em Barreira (2004) para os pontos 1 e 3 e em Mendonça (2005b) para o ponto 2.

Quadro 5-1: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 1

	Emissividade	Temperatura refletida [°C]			Temperatura atmosférica [°C]			Humidade relativa [%]		
		a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
1	0,92	21,7	14,8	13,1	16,8	20,2	17,1	44,1	32,5	42,9
2	0,87									
3	0,93									

Quadro 5-2: Termogramas relativos ao caso 1, para as três situações de ensaio



Escala utilizada: 12.5  26.5
14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 °C

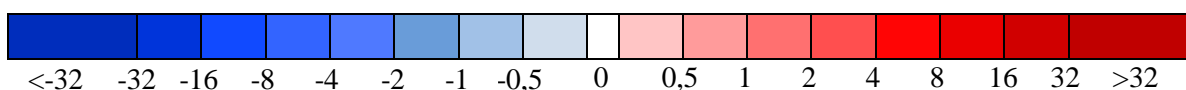
- **Diferencial da temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-3 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações, assim como visualizar o diferencial de temperatura registradas entre os equipamentos.

Para uma melhor visualização do diferencial existente entre os três equipamentos, optou-se por criar uma escala de cores de forma a tornar mais fácil a sua interpretação, utilizando-se uma gradação em tons de azul para o diferencial negativo, branco para o nulo e vermelho para o diferencial positivo. Esses diferenciais foram calculados em função do equipamento que no quadro aparece em primeiro lugar, subtraindo o valor do que aparece em segundo lugar. Por exemplo, os diferenciais “TI vs. termopar” foram obtidos através da subtração da temperatura do termopar à do TI. Este procedimento foi seguido para todos os casos de estudo que são apresentados ao longo deste capítulo.

Quadro 5-3: Resultados das medições efetuadas no caso 1

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	23,3	20,0	17,3	27,3	19,6	17,1	26,3	18,5	16,9
Termopar [°C]	22,7	20,1	17,2	27,8	20,3	18,1	25,3	18,7	17,7
Termograma a 5 m [°C]	22,2	19,9	17,7	26,7	19,8	17,8	24,1	18,3	17,1
Termograma a 10 m [°C]	22,5	19,5	17,9	27,3	19,6	17,3	24,6	18,1	17,3
Termograma a 12 m [°C]	22,3	20,0	17,9	27,3	19,6	17,2	24,2	18,4	17,3
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	0,6	-0,1	0,1	-0,5	-0,7	-1,0	1,0	-0,2	-0,8
TI vs. termograma [°C]									
5m	1,1	0,1	-0,4	0,6	-0,2	-0,7	2,2	0,2	-0,2
10m	0,8	0,5	-0,6	0,0	0,0	-0,2	1,7	0,4	-0,4
12m	1,0	0,0	-0,6	0,0	0,0	-0,1	2,1	0,1	-0,4
Termopar vs. termograma [°C]									
5m	0,5	0,2	-0,5	1,1	0,5	0,3	1,2	0,4	0,6
10m	0,2	0,6	-0,7	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,4
12m	0,4	0,1	-0,7	0,5	0,7	0,9	1,1	0,3	0,4



Analisando os resultados é possível observar que de uma maneira geral a medição realizada durante a situação b) é aquela que apresenta um menor diferencial de temperaturas. Por outro lado, as medições realizadas durante a situação a) demonstram ser aquelas que apresentam maiores diferenciais. Os equipamentos que evidenciaram a obtenção de resultados mais semelhante são o termómetro de infravermelhos e os termogramas. Neste caso de estudo a variação da distância não mostrou ter muita interferência nas medições.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Para uma melhor compreensão acerca da influência da emissividade na temperatura superficial observada nos termogramas, optou-se por recorrer ao *software* FLIR QuickReport 1.2 e fazer variar os valores da emissividade entre 0,1 e 1 e analisar qual o comportamento da temperatura para todos os pontos dos casos de estudo e para as várias distâncias.

Do estudo efetuado, foi possível aferir que independentemente da distância, o comportamento da temperatura era muito semelhante entre elas, variando muito pouco. Daí surgiu a opção de apenas se apresentar os resultados para uma distância, estando os restantes disponíveis para consulta no Apêndice 2.

Na Figura 5-4 é possível visualizar, para o caso 1, o comportamento da temperatura superficial em função da diminuição da emissividade, com base nos termogramas tirados a 5 m de distância. Analisando os resultados obtidos torna-se evidente que existe um aumento da temperatura aquando de uma diminuição do valor da emissividade. Consta-se também que existe um aumento bastante brusco na temperatura para emissividades inferiores a 0,30, excetuando o ponto 1 na situação a) visto que o seu comportamento é bastante constante, podendo ter como influência o facto de a temperatura superficial nesse ponto ser muito próxima do valor da temperatura refletida.

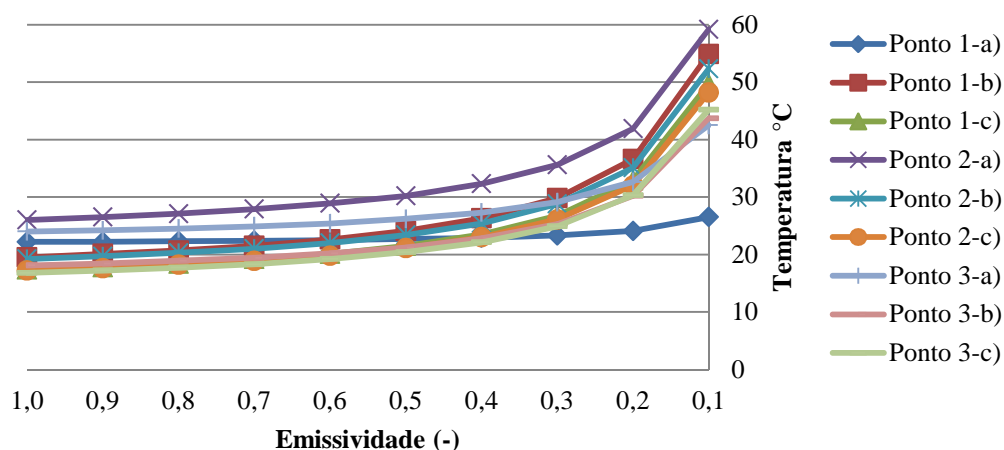


Figura 5-4: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 1

5.4.2 Caso 2

O caso 2 consistiu em avaliar três materiais diferentes que fazem parte de uma fachada do edifício da ESTGV. Os três materiais foram numerados, como é possível observar na Figura 5-5, correspondendo o número 1 à monomassa de pedra projetada, o número 2 a um quadro elétrico pintado com tinta branca e sendo por último o número 3, um tubo de queda em aço galvanizado.

Esta campanha experimental realizou-se no dia 8 de abril de 2014, iniciando-se a situação a) às 12:20h, a situação b) às 19:30h e por fim a situação c) às 22:45h.

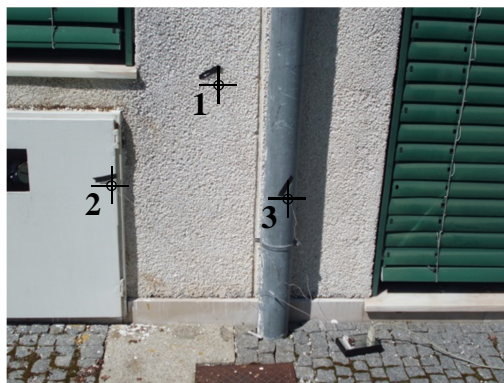


Figura 5-5: Materiais em estudo no caso 2

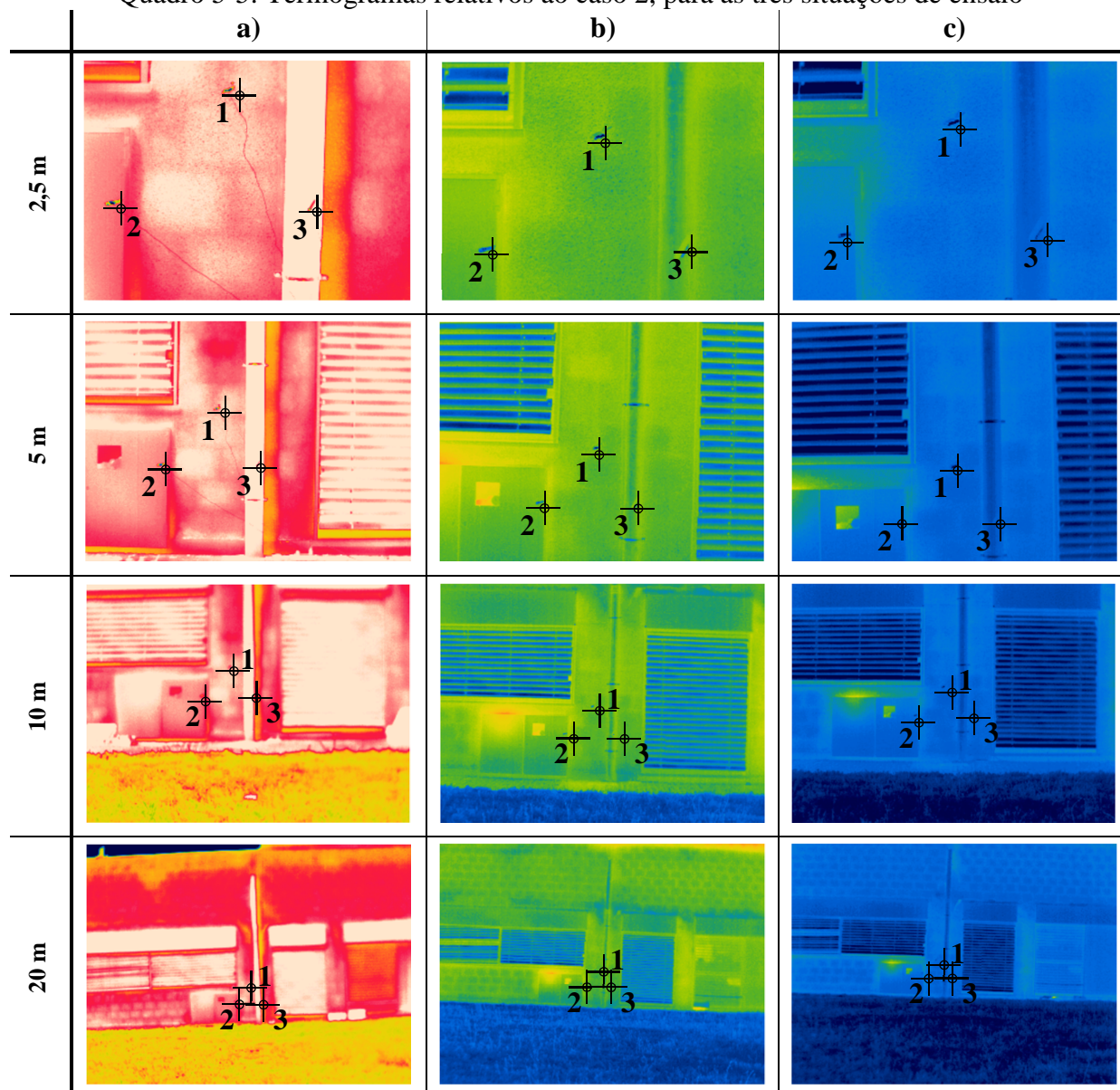
No Quadro 5-5 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio onde se optou por fazer variar as distâncias a 2,5; 5; 10 e 20 m. Os parâmetros utilizados aquando do tratamento dos termogramas no *software* estão representados no Quadro 5-4. A sequência de termogramas apresentada encontra-se à mesma escala de temperaturas.


Os valores das emissividades para os diferentes materiais foram consultados em Barreira (2004) para os pontos 1 e 3 e em Adendo (s.d.) para o ponto 2.

Quadro 5-4: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 2

	Emissividade	Temperatura refletida [°C]			Temperatura atmosférica [°C]			Humidade relativa [%]		
		a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
1	0,87	23,0	5,8	4,5	19,4	22,1	16,8	52,2	35,3	71,0
2	0,92									
3	0,28									

Quadro 5-5: Termogramas relativos ao caso 2, para as três situações de ensaio



Escala utilizada: 12.5  32.4
15.0 20.0 25.0 30.0 °C

- **Diferencial da temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-6 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar os diferenciais de temperatura registados entre os equipamentos.

Quadro 5-6: Resultados das medições efetuadas no caso 2

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	32,9	20,7	17,5	32,5	20,6	17,7	35,5	20,6	16,7
Termopar [°C]	31,3	21,7	18,6	30,7	20,9	17,9	36,8	21,1	17,1
Termograma a 2,5 m [°C]	32,6	22,2	18,9	30,5	21,3	18,2	59,6	49,7	41,1
Termograma a 5 m [°C]	32,6	22,3	18,2	30,5	21,3	17,7	59,2	50,8	40,8
Termograma a 10 m [°C]	32,5	22,3	18,0	30,3	21,3	17,6	57,8	50,5	40,8
Termograma a 20 m [°C]	32,6	22,1	18,0	29,9	21,2	17,8	56,6	50,3	41,3
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	1,6	-1,0	-1,1	1,8	-0,3	-0,2	-1,3	-0,5	-0,4
TI vs. termograma [°C]									
2,5m	0,3	-1,5	-1,4	2,0	-0,7	-0,5	-24,1	-29,1	-24,4
5m	0,3	-1,6	-0,7	2,0	-0,7	0,0	-23,7	-30,2	-24,1
10m	0,4	-1,6	-0,5	2,2	-0,7	0,1	-22,3	-29,9	-24,1
20m	0,3	-1,4	-0,5	2,6	-0,6	-0,1	-21,1	-29,7	-24,6
Termopar vs. termograma [°C]									
2,5m	-1,3	-0,5	-0,3	0,2	-0,4	-0,3	-22,8	-28,6	-24,0
5m	-1,3	-0,6	0,4	0,2	-0,4	0,2	-22,4	-29,7	-23,7
10m	-1,2	-0,6	0,6	0,4	-0,4	0,3	-21,0	-29,4	-23,7
20m	-1,3	-0,4	0,6	0,8	-0,3	0,1	-19,8	-29,2	-24,2

Observando os resultados das medições deste caso de estudo é notória a discrepância de valores obtidos para o ponto 3. Este fenómeno poderá dever-se ao facto do material em análise, aço galvanizado, apresentar uma emissividade baixa, visto que esta característica faz com que sempre que se compare os resultados obtidos de outro equipamento com os termogramas, se obtenham valores bastante díspares.

De uma forma geral é possível constatar-se que é na situação c) que ocorrem as menores diferenças de temperatura entre equipamentos.

Neste caso de estudo é possível aferir que a variação da distância tem pouca interferência na medição da temperatura através dos termogramas.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-6 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da emissividade, para o caso 2, com os termogramas tirados a 5 m de distância. Analisando os

resultados torna-se claro que existe um aumento da temperatura, aquando de uma diminuição do valor da emissividade. Constata-se também que existe um aumento bastante brusco na temperatura para emissividades inferiores a 0,20, começando no entanto a notar-se esse aumento a partir da emissividade 0,60.

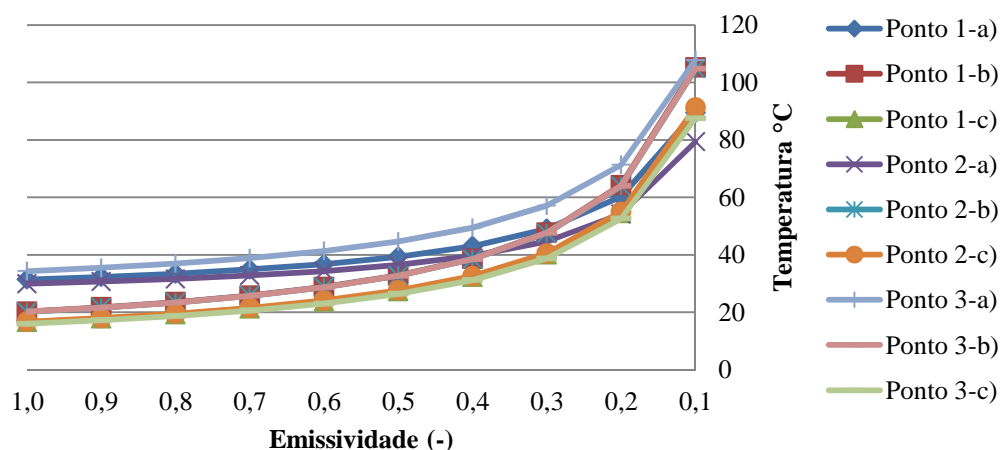


Figura 5-6: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 2

5.4.3 Caso 3

O caso 3 consistiu em avaliar três materiais diferentes que faziam parte de uma fachada do edifício Multiusos do Instituto Politécnico de Viseu (IPV). Os três materiais foram numerados, como é possível observar na Figura 5-7, correspondendo o número 1 a um portão em aço com superfície rugosa, o número 2 a uma parede pintada de branco e por último, um muro de suporte em betão representado pelo número 3.

Esta campanha experimental realizou-se no dia 8 de abril de 2014, iniciando-se a situação a) às 14:05h, a situação b) às 19:55h e por fim a situação c) às 23:10h.

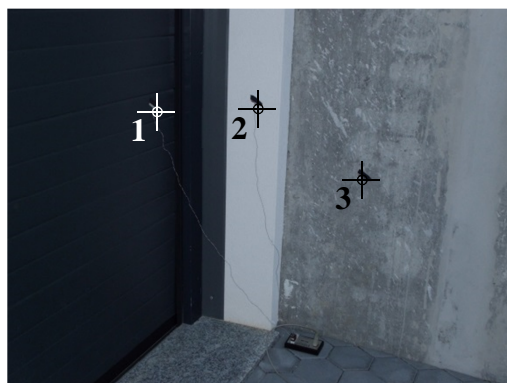


Figura 5-7: Materiais em estudo no caso 3

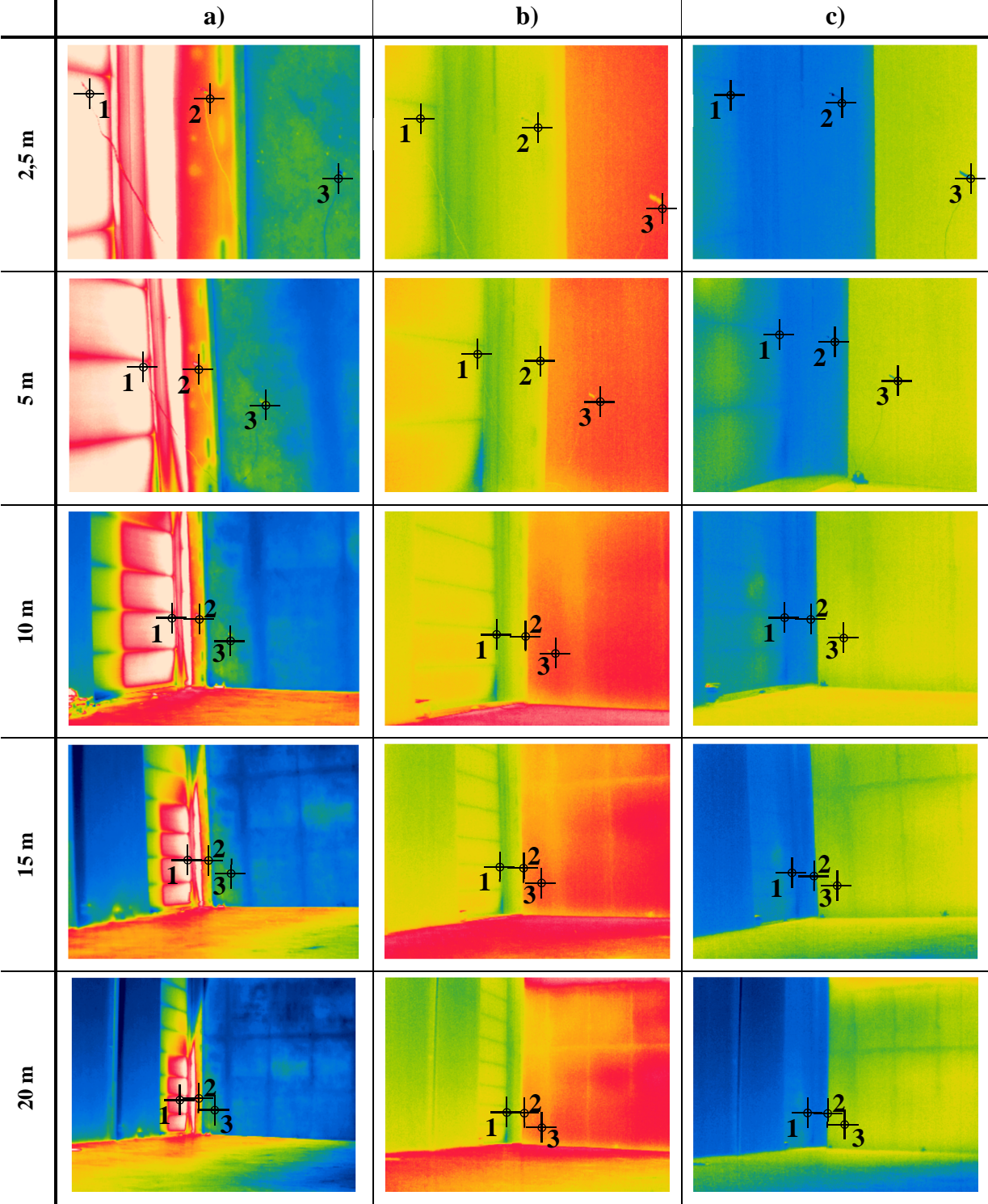
No Quadro 5-8 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio e para as distâncias de 2,5; 5; 10; 15 e 20 m. Os parâmetros utilizados aquando do tratamento dos termogramas no *software* estão representados no Quadro 5-7. A sequência de termogramas apresentada encontra-se com duas escalas de temperaturas diferentes, uma escala para a situação a) e outra escala para as situações b) e c). Neste caso de estudo tornou-se inviável utilizar a mesma escala para as três situações de ensaio, devido às elevadas temperaturas superficiais registadas na situação a).

Os valores das emissividades para os diferentes pontos foram consultados em Barreira (2004) para os pontos 1 e 3 e em Adendo (s.d.) para o ponto 2. Nos casos em que os referidos materiais possuíam na bibliografia consultada um intervalo de valores para a emissividade, optou-se por utilizar o valor médio.

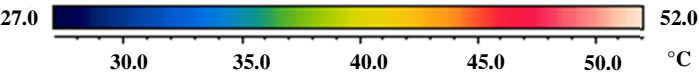
Quadro 5-7: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição no caso 3

	Emissividade	Temperatura refletida [°C]			Temperatura atmosférica [°C]			Humidade relativa [%]		
		a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
1	0,95-0,98	25,0	16,9	13,4	22,1	21,0	16,8	35,9	41,6	69,9
2	0,92									
3	0,92-0,94									

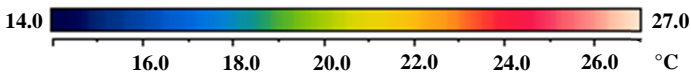
Quadro 5-8: Termogramas relativos ao caso 3, para as três situações de ensaio



Escala utilizada: situação a)



Escala utilizada: situação b) e c)



• **Diferencial da temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-9 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar o diferencial de temperatura registado entre os vários equipamentos.

Quadro 5-9: Resultados das medições efetuadas no caso 3

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	52,1	21,3	18,4	46,9	21,2	18,0	36,9	24,1	21,0
Termopar [°C]	50,5	20,6	17,9	46,2	20,8	17,9	35,8	23,8	21,1
Termograma a 2,5 m [°C]	53,1	20,6	17,5	46,0	21,2	17,9	36,9	24,0	21,2
Termograma a 5 m [°C]	53,0	20,6	17,8	45,4	21,2	18,1	36,9	23,9	21,2
Termograma a 10 m [°C]	53,0	20,4	17,7	45,4	21,2	18,1	36,9	23,9	21,1
Termograma a 15 m [°C]	53,1	20,5	17,6	45,3	21,2	18,0	37,0	23,6	20,7
Termograma a 20 m [°C]	52,7	20,4	17,6	45,1	21,2	18,0	37,1	23,9	20,8
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	1,6	0,7	0,5	0,7	0,4	0,1	1,1	0,3	-0,1
TI vs. termograma [°C]									
2,5m	-1,0	0,7	0,9	0,9	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,2
5m	-0,9	0,7	0,6	1,5	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,2
10m	-0,9	0,9	0,7	1,5	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,1
15m	-1,0	0,8	0,8	1,6	0,0	0,0	-0,1	0,5	0,3
20m	-0,6	0,9	0,8	1,8	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,2
Termopar vs. termograma [°C]									
2,5m	-2,6	0,0	0,4	0,2	-0,4	0,0	-1,1	-0,2	-0,1
5m	-2,5	0,0	0,1	0,8	-0,4	-0,2	-1,1	-0,1	-0,1
10m	-2,5	0,2	0,2	0,8	-0,4	-0,2	-1,1	-0,1	0,0
15m	-2,6	0,1	0,3	0,9	-0,4	-0,1	-1,2	0,2	0,4
20m	-2,2	0,2	0,3	1,1	-0,4	-0,1	-1,3	-0,1	0,3

<-32 -32 -16 -8 -4 -2 -1 -0,5 0 0,5 1 2 4 8 16 32 >32

Analisando os resultados obtidos, de forma genérica, é possível constatar que é na situação a) que são observadas as maiores diferenças de temperatura entre equipamentos. Por outro lado, as situações b) e c) apresentam variações muito semelhantes, podendo ser consideradas as melhores alturas para a realização dos ensaios.

No conjunto das medições, verifica-se que as realizadas com o termómetro de infravermelhos e a câmara termográfica são aquelas que mais se aproximam.

Realça-se, mais uma vez, que a variação da distância não veio acrescentar grandes alterações nas leituras das temperaturas superficiais.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-8 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, para o caso 3, com os termogramas tirados a 5 m de distância. Analisando os resultados torna-se evidente que existe um aumento da temperatura aquando de uma diminuição do valor da emissividade. Consta-se também que, de uma maneira geral, existe um aumento acentuado na temperatura para emissividades aproximadamente inferiores a 0,30 (em algumas situações em emissividades mais elevadas).

Neste caso de estudo é bastante perceptível que a situação a) é aquela em que os valores da temperatura superficial são mais influenciados pela variação da emissividade, demonstrando também que os ensaios termográficos realizados durante a incidência de radiação solar são os mais influenciados.

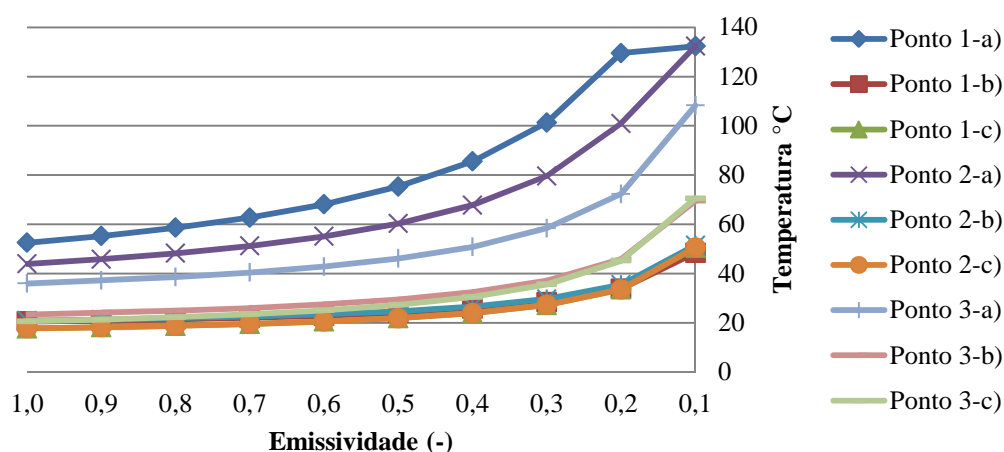


Figura 5-8: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m, nos termogramas do caso 3

5.4.4 Caso 4

O caso 4 consistiu em avaliar três materiais diferentes, que fazem parte de uma fachada do edifício Multiusos do IPV. Os três materiais foram numerados, como é possível observar na Figura 5-9.a), correspondendo o número 1 a uma fachada ventilada em pedra de granito amaciado (cinza ariz), o número 2 a um tubo de queda em zinco galvanizado e por último, o número 3 a uma parede pintada de branco. Neste caso de estudo optou-se ainda por fazer variar o ângulo entre a câmara termográfica e as superfícies em estudo, como se pode

verificar na Figura 5-9.b), com o intuito de averiguar se o ângulo de medição tinha influência nas medições. É importante salientar que os ângulos foram escolhidos para que durante as medições se pudesse evitar as reflexões provenientes dos carros existentes no parque de estacionamento.

Esta campanha experimental realizou-se no dia 9 de abril de 2014, iniciando-se a situação a) às 12:21h, a situação b) às 18:30h e por fim a situação c) às 21:47h. As medições referentes a $\alpha 2$ iniciaram sensivelmente 15 minutos após as medições realizadas para $\alpha 1$.

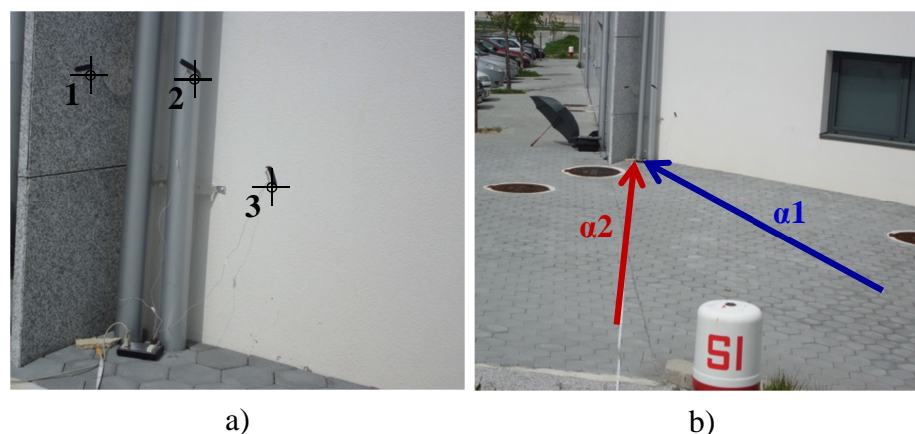


Figura 5-9: Materiais em estudo no caso 4. a) Numeração dos diferentes materiais; b) Diferentes ângulos de realização dos ensaios termográficos

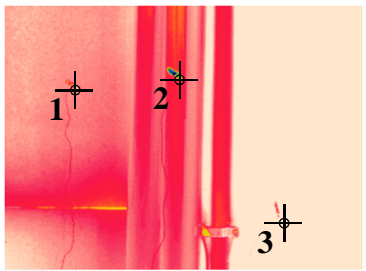
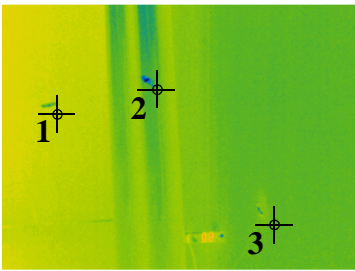
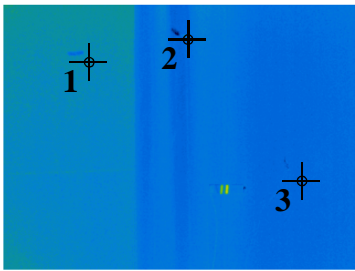
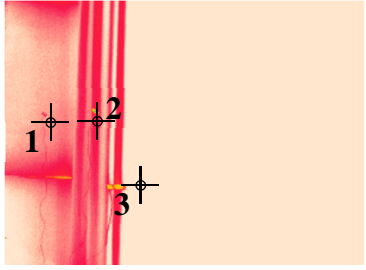
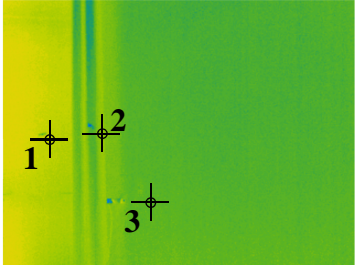
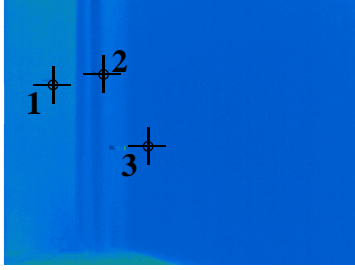
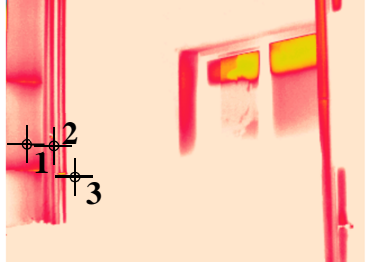
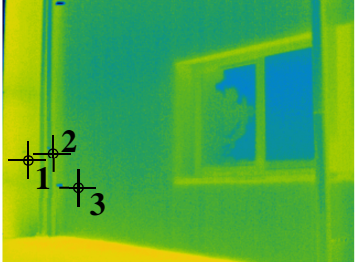
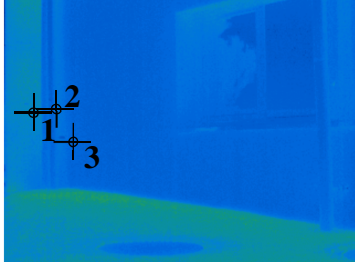
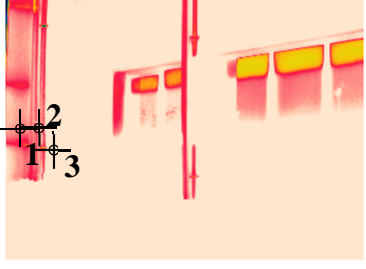

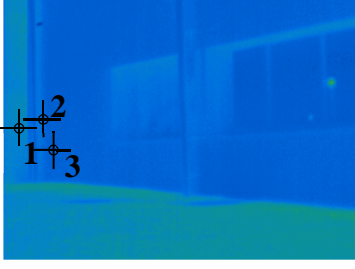
No Quadro 5-11 e Quadro 5-12 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, para situações com os ângulos $\alpha 1$ e $\alpha 2$, respetivamente e para as distâncias de 2,5; 5; 10 e 15 m. Os parâmetros utilizados aquando do tratamento dos termogramas no *software* estão representados no Quadro 5-10. A sequência de termogramas apresentada para ambos os ângulos de ensaio encontra-se à mesma escala de temperaturas.

Os valores das emissividades para os diferentes materiais foram consultados em Barreira (2004) para os pontos 1 e 3 e em Mendonça (2005b) para o ponto 2. No caso em que os referidos materiais, segundo a bibliografia consultada, possuíam um intervalo de valores para a emissividade, optou-se por utilizar o valor médio.

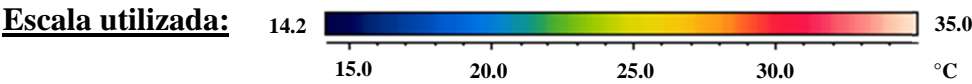
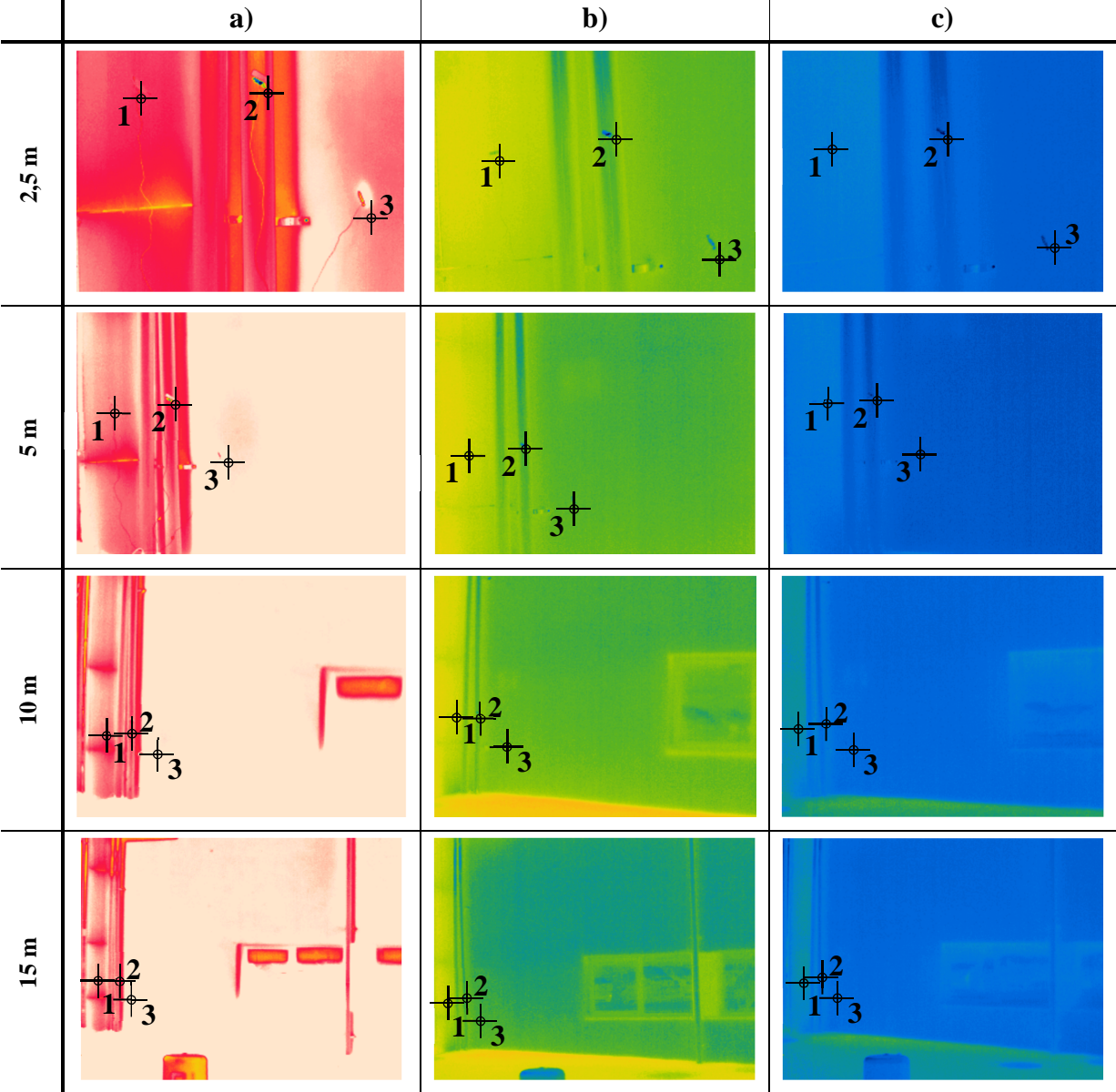
Quadro 5-10: Parâmetros utilizados nos termogramas para cada ponto de medição $\alpha 1$ (*) e $\alpha 2$ (#) no caso 4

	Emissividade	Temperatura refletida [°C]			Temperatura atmosférica [°C]			Humidade relativa [%]		
		a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
1	0,85	34,2*	19,2*	15,8*	22,9*	23,6*	19,5*	40,1*	35,5*	46,1*
2	0,23-0,28	32,9#	14,5#	12,8#	22,7#	23,6#	19,4#	39,8#	35,4#	45,9#
3	0,92									

Quadro 5-11: Termogramas relativos ao caso 4, para as três situações de ensaio e ângulo $\alpha 1$

	a)	b)	c)
2,5 m			
5 m			
10 m			
15 m			

Quadro 5-12: Termogramas relativos ao caso 4, para as três situações de ensaio e ângulo $\alpha 2$

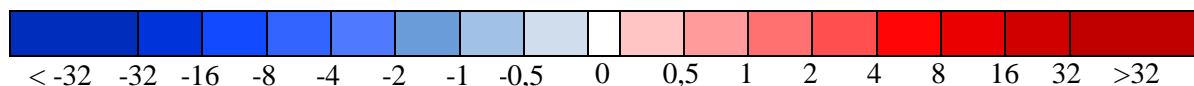


• Diferencial de temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos

No Quadro 5-13 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar o diferencial de temperaturas registradas entre os aparelhos.

Quadro 5-13: Resultados das medições efetuadas para o caso 4

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	30,2	25,3	21,1	32,8	23,7	20,4	33,4	23,1	19,4
Termopar [°C]	36,7	24,2	20,6	35,7	23,6	20,1	37,5	22,9	19,5
Termogramas para $\alpha 1$ [°C]									
Termograma a 2,5 m	32,9	25,4	21,4	17,4	30,3	28,6	36,8	22,9	19,5
Termograma a 5 m	33,1	25,0	21,2	18,9	30,9	28,1	36,3	22,9	19,0
Termograma a 10 m	33,0	25,0	21,5	18,2	30,9	28,3	37,0	22,6	19,2
Termograma a 15 m	32,9	24,9	21,1	18,3	30,9	30,0	37,1	22,7	19,2
Termogramas para $\alpha 2$ [°C]									
Termograma a 2,5 m	33,1	26,1	21,1	23,6	42,4	33,5	35,4	23,3	18,8
Termograma a 5 m	33,1	26,2	21,3	24,0	42,1	32,4	35,4	23,4	19,0
Termograma a 10 m	33,2	26,0	22,2	24,0	42,3	36,1	35,6	23,0	19,7
Termograma a 15 m	33,1	26,0	22,2	23,2	42,5	36,1	36,2	22,8	19,8
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	-6,5	1,1	0,5	-2,9	0,1	0,3	-4,1	0,2	-0,1
TI vs. termograma para $\alpha 1$ [°C]									
2,5m	-2,7	-0,1	-0,3	15,4	-6,6	-8,2	-3,4	0,2	-0,1
5m	-2,9	0,3	-0,1	13,9	-7,2	-7,7	-2,9	0,2	0,4
10m	-2,8	0,3	-0,4	14,6	-7,2	-7,9	-3,6	0,5	0,2
15m	-2,7	0,4	0,0	14,5	-7,0	-9,6	-3,7	0,4	0,2
TI vs. termograma para $\alpha 2$ [°C]									
2,5m	-2,9	-0,8	0,0	9,2	-18,7	-13,1	-2,0	-0,2	0,6
5m	-2,9	-0,9	-0,2	8,8	-18,4	-12,0	-2,0	-0,3	0,4
10m	-3,0	-0,7	-1,1	8,8	-18,6	-15,7	-2,2	0,1	-0,3
15m	-2,9	-0,7	-1,1	9,6	-18,8	-15,7	-2,8	0,3	-0,4
Termopar vs. termograma para $\alpha 1$ [°C]									
2,5m	3,8	-1,2	-0,8	18,3	-6,7	-8,5	0,7	0,0	0,0
5m	3,6	-0,8	-0,6	16,8	-7,3	-8,0	1,2	0,0	0,5
10m	3,7	-0,8	-0,9	17,5	-7,3	-8,2	0,5	0,3	0,3
15m	3,8	-0,7	-0,5	17,4	-7,1	-9,9	0,4	0,2	0,3
Termopar vs. termograma para $\alpha 2$ [°C]									
2,5m	3,6	-1,9	-0,5	12,1	-18,8	-13,4	2,1	-0,4	0,7
5m	3,6	-2,0	-0,7	11,7	-18,5	-12,3	2,1	-0,5	0,5
10m	3,5	-1,8	-1,6	11,7	-18,7	-16,0	1,9	-0,1	-0,2
15m	3,6	-1,8	-1,6	12,5	-18,9	-16,0	1,3	0,1	-0,3



Examinando os resultados obtidos, é novamente notória a influência que o valor da emissividade provoca nas leituras das temperaturas superficiais, visto que para o ponto 2 observam-se diferenças de temperatura bastante elevadas entre as medições realizadas com a câmara termográfica e os restantes equipamentos.

Observa-se que para a situação $\alpha 2$, na generalidade dos casos, esta apresenta maiores diferenciais de temperatura do que a situação $\alpha 1$, sendo essa diferença fundamentalmente notada no ponto 2, podendo ser explicada devido a apresentar um valor de emissividade mais baixo. Contudo, para a situação a) esse mesmo ponto apresenta comportamento contrário, tal facto poderá ser explicado com recurso ao valor da temperatura refletida, isto porque o ponto 2 na situação a) apresenta uma temperatura superficial inferior ao valor da temperatura refletida.

No que respeita à variação da distância para a realização dos ensaios termográficos, esta não revelou ter grande influência na variação do valor das temperaturas superficiais para os três materiais.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-10 e na Figura 5-11 é possível visualizar, para ambos os ângulos de medição, o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, com os termogramas tirados a 5 m de distância. Analisando os resultados torna-se evidente que todos os pontos, à exceção dos pontos 1 e 2 na situação a), apresentam um aumento da temperatura em função da diminuição da emissividade. No que toca aos pontos 1 e 2 na situação a), verifica-se que os resultados obtidos apresentam uma diminuição da temperatura em função da diminuição da emissividade. Este acontecimento poderá ser explicado através de uma análise ao valor da temperatura refletida utilizada nesses termogramas, visto esta ser superior ao valor da temperatura em cada um dos pontos. De uma maneira geral e comparando ambos os casos, é possível verificar que para a situação $\alpha 2$ são atingidas temperaturas mais elevadas.

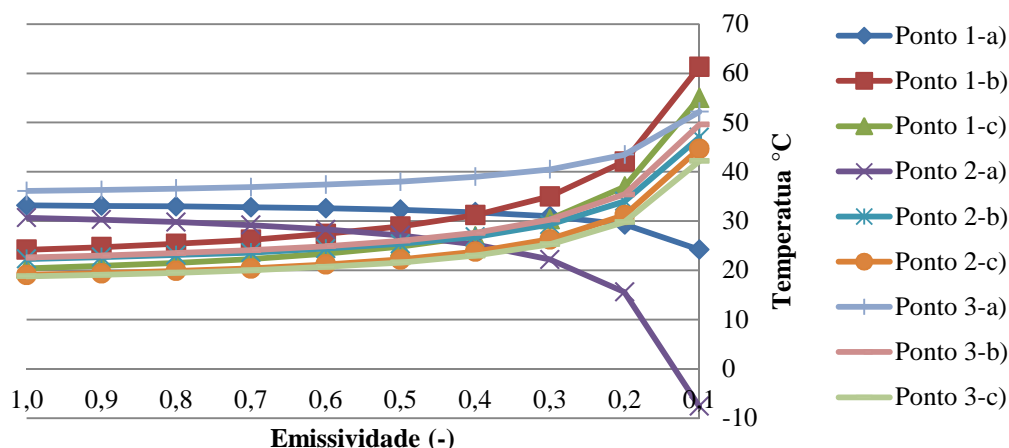


Figura 5-10: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m (medição $\alpha 1$), nos termogramas do caso 4

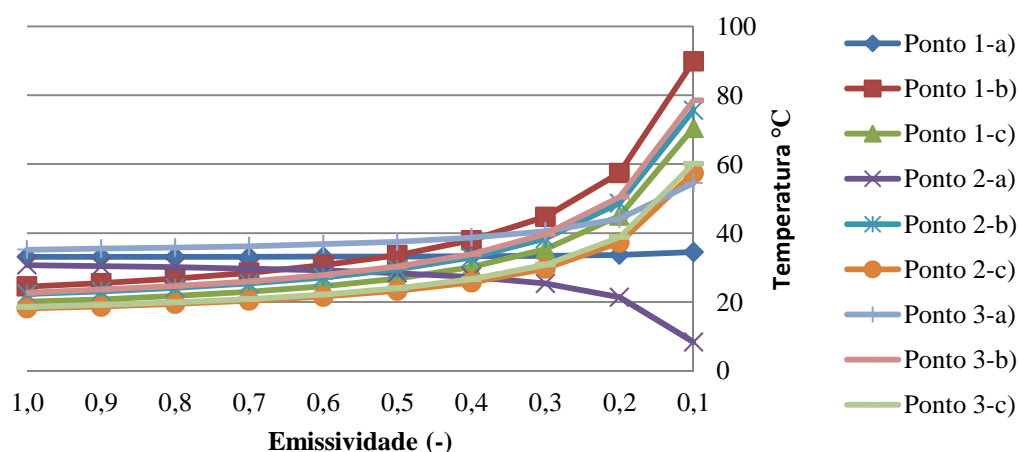


Figura 5-11: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 5 m (medição α_2), nos termogramas do caso 4

5.5 Casos de estudo em laboratório

Nesta campanha experimental pretende-se analisar uma série de amostras de diferentes materiais, com diferentes emissividades, através da medição das temperaturas superficiais e utilizando para tal uma câmara termográfica, termopares do tipo T e um termómetro de infravermelhos. No final comparam-se os resultados obtidos para averiguar as diferenças existentes entre eles.

Primeiramente realizou-se uma pesquisa para selecionar/obter os materiais adequados ao ensaio, assim como, procedeu-se à escolha do local adequado para a realização do ensaio, pois este não poderia ter a interferência de obstáculos, para que a incidência solar fosse sempre constante ao longo do dia. Posteriormente colocaram-se pela manhã todos os materiais selecionados junto à parede escolhida, Figura 5-12.



Figura 5-12: Disposição dos diferentes materiais em estudo

Por uma questão de uniformização, optou-se por fazer variar a distância em 2; 4 e 8 m para todos os casos de estudo. Esta campanha experimental realizou-se no dia 3 de junho de 2014, iniciando-se às 15:00h para a situação a), que corresponde à incidência direta de radiação solar sobre os diferentes materiais. A situação b) correspondente ao momento após o pôr-do-

sol, ou seja situação sombria e realizou-se às 21:00h. Por último, a situação c) correspondente às medições efetuadas em condições noturnas realizou-se às 23:30h.

As condições de ensaio assim como os valores da temperatura refletida estão apresentadas no Quadro 5-14.

Quadro 5-14: Parâmetros utilizados nos termogramas dos quatro casos de estudo

Temperatura refletida [°C]			Temperatura atmosférica [°C]			Humidade relativa [%]		
a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
4,8	10,8	16,0	19,0	13,0	12,0	52,0	78,0	92,0

5.5.1 Caso 5

O caso 5 é aquele que aborda, dentro dos materiais que foi possível adquirir, os menores valores de emissividade. Os materiais foram numerados, como é possível observar na Figura 5-13, correspondendo o número 1 a chapa de zinco, o número 2 a poliestireno extrudido (XPS) e por último, o número 3 a cortiça.

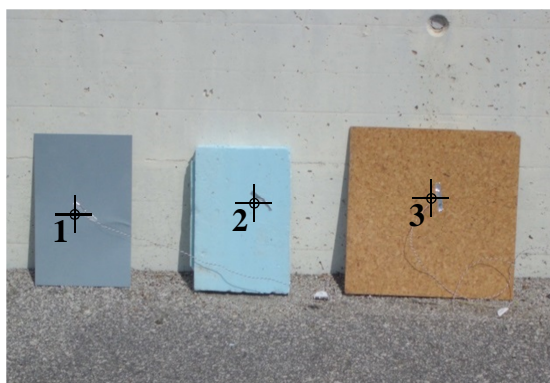


Figura 5-13: Materiais em estudo no caso 5

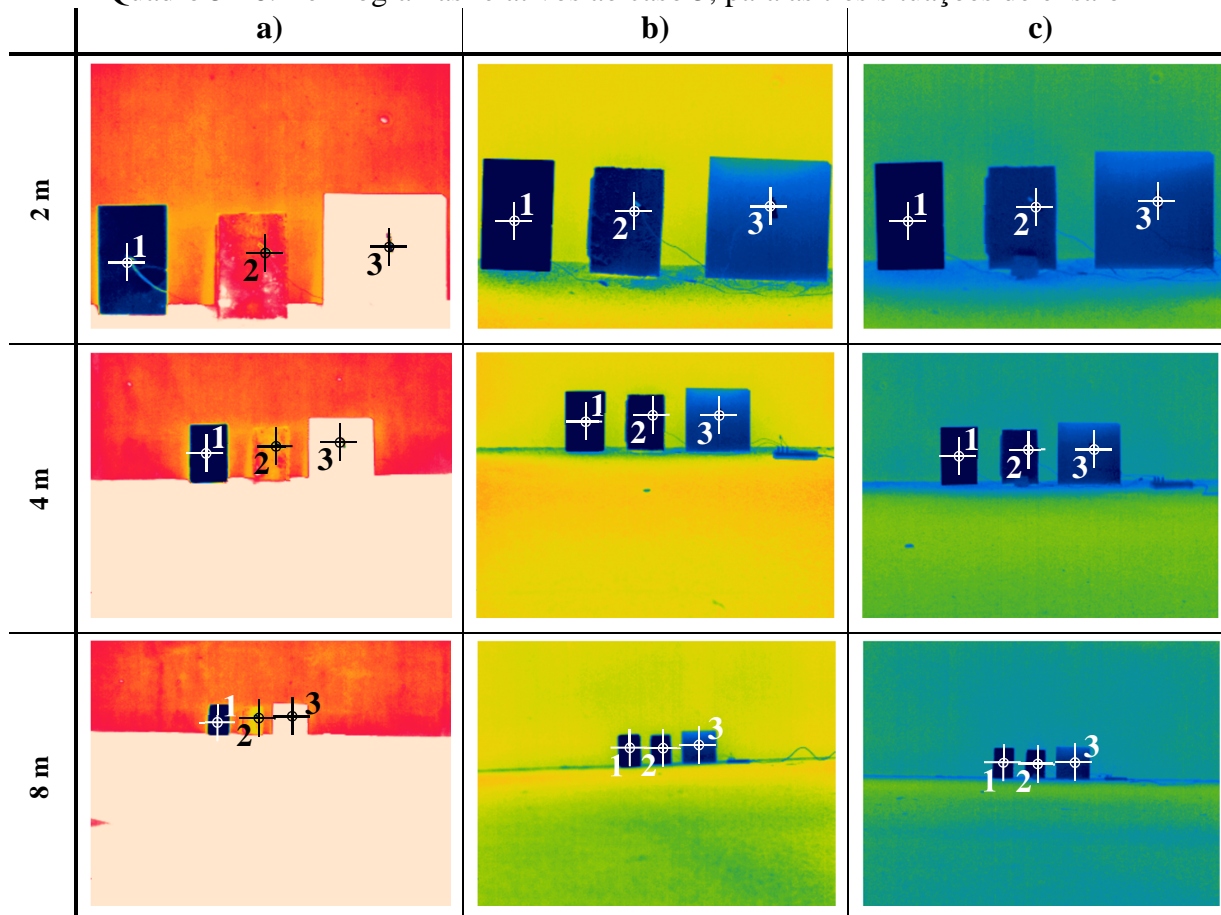
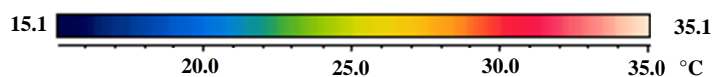
Os valores das emissividades para os diferentes materiais, Quadro 5-15, foram consultados em Barreira (2004) para os pontos 1, em Mendonça (2005b) para o ponto 2 e em Testo (2012) para o ponto 3.

Quadro 5-15: Valores da emissividade para os materiais do caso 5

	1	2	3
Emissividade	0,20	0,60	0,70

No Quadro 5-16 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, cuja sequência de termogramas apresentada se encontra à mesma escala de temperaturas.

Quadro 5-16: Termogramas relativos ao caso 5, para as três situações de ensaio

**Escala utilizada:**

- **Diferencial de temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-17 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar os diferenciais de temperatura registrados entre os vários equipamentos.

Quadro 5-17: Resultados das medições efetuadas para o caso 5

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	37,2	15,3	16,7	35,7	14,6	16,9	46,4	16,4	17,8
Termopar [°C]	47,1	18,4	17,3	40,3	17,6	16,2	44,1	18,2	18,4
Termograma a 2,0 m [°C]	52,2	-39,1	-4,8	42,2	17,9	16,9	45,8	21,7	18,2
Termograma a 4,0 m [°C]	15,2	-40,1	-9,6	40,1	15,9	15,9	46,6	20,8	17,7
Termograma a 8,0 m [°C]	-40,1	-40,1	-13,5	38,3	14,5	14,8	44,7	19,6	17,3
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	-9,9	-3,1	-0,6	-4,6	-3,0	0,7	2,3	-1,8	-0,6
TI vs. termograma [°C]									
2,0 m	-15,0	54,4	21,5	-6,5	-3,3	0,0	0,6	-5,3	-0,4
4,0 m	22,0	55,4	26,3	4,4	1,3	1,0	-0,2	-4,4	0,1
8,0 m	77,3	55,4	30,2	-2,6	0,1	2,1	1,7	-3,2	0,5
Termopar vs. termograma [°C]									
2,0 m	-5,1	57,5	22,1	-1,9	-0,3	-0,7	-1,7	-3,5	0,2
4,0 m	31,9	58,5	26,9	0,2	1,7	0,3	-2,5	-2,6	0,7
8,0 m	87,2	58,5	30,8	2,0	3,1	1,4	-0,6	-1,4	1,1

Através de uma análise cuidada aos resultados alcançados, é possível observar que para o ponto 1 os valores obtidos nas medições referentes aos termogramas são muito inconstantes. Tal facto poderá dever-se à elevada refletividade que é característica da chapa de zinco, aliando também ao baixo valor da sua emissividade.

De uma maneira geral, constata-se que é para a situação c) que se verificam as menores diferenças de temperatura entre equipamentos.

Neste caso de estudo verifica-se uma ligeira diminuição das temperaturas superficiais aquando do aumento das distâncias de medição dos termogramas.

De uma maneira geral, na comparação entre os valores obtidos pelos diversos equipamentos é possível constatar que as medições efetuadas com os termopares e com os termogramas são aquelas que mais se assemelham.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-14 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, com os termogramas tirados a 4 m de distância. Analisando os resultados torna-se evidente o comportamento irregular apresentado pelo ponto 1. De um modo geral, os restantes pontos apresentam o mesmo comportamento, visto que para todos eles existe um

aumento da temperatura em função de uma diminuição da emissividade. É compreensível que os pontos que apresentam uma maior variação de temperaturas são aqueles que se realizaram durante a situação a). Constata-se também que existe um aumento bastante brusco na temperatura para emissividades inferiores a aproximadamente 0,30.

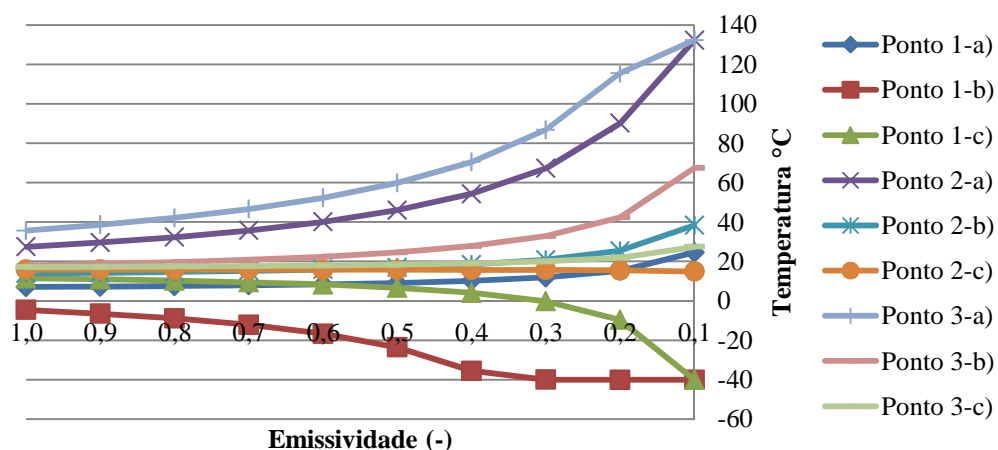


Figura 5-14: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 5

5.5.2 Caso 6

No caso 6 foram utilizados dois materiais cerâmicos, correspondendo o número 1 a um azulejo cor de laranja e o número 2 a um azulejo cinzento, Figura 5-15. Devido ao facto de a revisão bibliográfica efetuada não fazer a distinção entre cores de cerâmicos, considerou-se que teriam a mesma emissividade, optando-se assim por analisá-los e tentar averiguar qual a interferência que a cor dos azulejos tem na sua temperatura superficial, quando se consideram emissividades iguais.

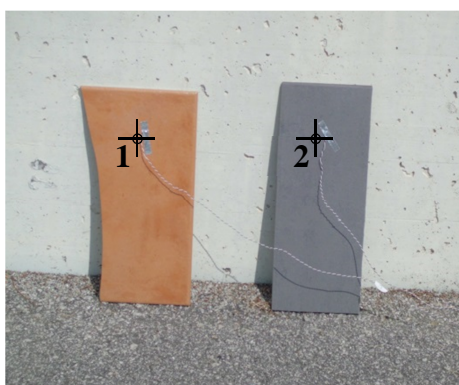


Figura 5-15: Materiais em estudo no caso 6

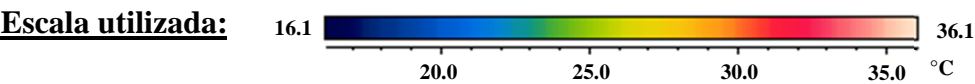
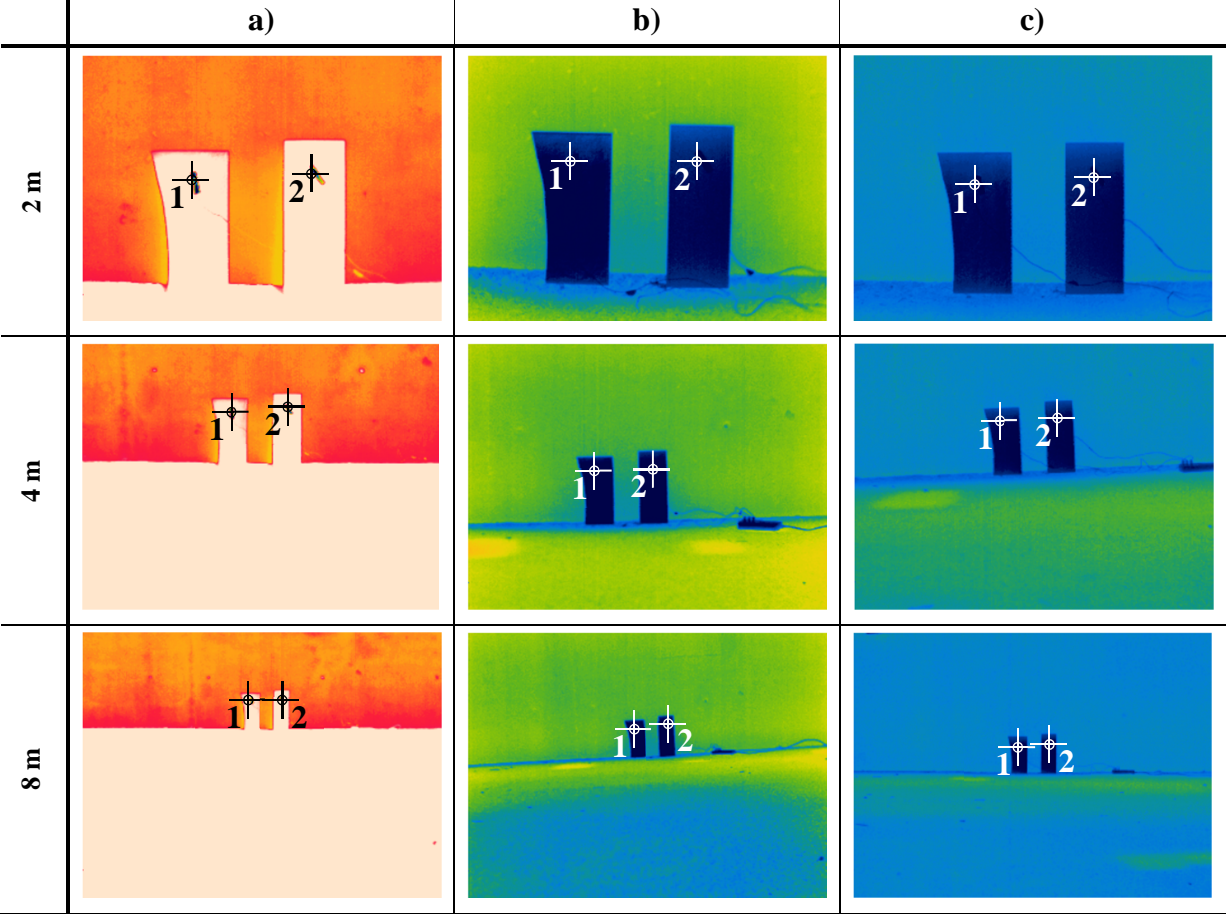
O valor da emissividade para os diferentes materiais, Quadro 5-18, foram consultados em Barreira (2004) para ambos os pontos de medição.

Quadro 5-18: Valores da emissividade para os materiais do caso 6

	1	2
Emissividade	0,93	0,93

No Quadro 5-19 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, e cuja sequência de termogramas se encontra apresentada à mesma escala de temperaturas.

Quadro 5-19: Termogramas relativos ao caso 6, para as três situações de ensaio

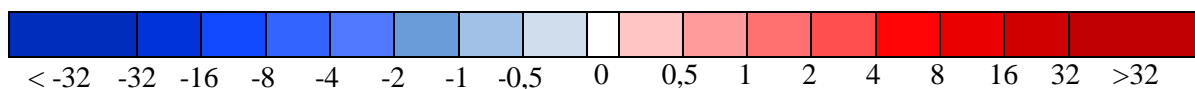


- Diferencial de temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos

No Quadro 5-20 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar as diferenças de temperatura registradas entre os equipamentos.

Quadro 5-20: Resultados das medições efetuadas para o caso 6

Equipamento	1			2		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	42,2	17,9	17,4	43,3	17,9	17,4
Termopar [°C]	43,9	19,1	17,8	46,9	19,0	17,6
Termograma a 2,0 m [°C]	40,4	17,8	17,6	41,2	17,8	17,5
Termograma a 4,0 m [°C]	39,5	16,0	17,3	41,0	16,1	17,2
Termograma a 8,0 m [°C]	37,8	15,7	17,1	39,5	15,7	16,8
Diferenças						
TI vs. termopar [°C]	-1,7	-1,2	-0,4	-3,6	-1,1	-0,2
TI vs. termograma [°C]						
2,0 m	1,8	0,1	-0,2	2,1	0,1	-0,1
4,0 m	2,7	1,9	0,1	2,3	1,8	0,2
8,0 m	4,4	2,2	0,3	3,8	2,2	0,6
Termopar vs. termograma [°C]						
2,0 m	3,5	1,3	0,2	5,7	1,2	0,1
4,0 m	4,4	3,1	0,5	5,9	2,9	0,4
8,0 m	6,1	3,4	0,7	7,4	3,3	0,8



Através de uma análise aos resultados obtidos é possível constatar que as diferenças nas medições efetuadas com os três equipamentos se tornam mais ténues quando realizadas na situação c).

O grupo de equipamentos onde de uma maneira geral se verificam as menores diferenças de temperatura é no TI vs. termopar. É notável a interferência do efeito da distância nas medições termográficas, visto que existe um aumento da temperatura com o aumento da distância, este acontecimento poderá dever-se ao facto de com o aumento da distância, se perder um pouco o detalhe do termograma, influenciando a localização exata do ponto em medição.

No que respeita à influência da cor dos azulejos nas medições, foi possível constatar que quando as medições são realizadas durante a situação a), o azulejo cinzento apresenta temperaturas ligeiramente superiores comparativamente com o azulejo laranja. Contudo, quando as medições são realizadas durante a situação b) e c), as suas temperaturas superficiais são muito semelhantes.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-16 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, com os termogramas tirados a 4 m de distância. Analisando os resultados alcançados é possível observar que o comportamento das curvas dos três pontos de ensaio estão agrupadas consoante a situação de ensaio em que se realizaram, evidenciando ter um comportamento muito semelhante.

É também bastante perceptível que os valores da temperatura superficial em função da diminuição da emissividade atingem valores mais elevados na situação a), demonstrando mais uma vez que os ensaios termográficos realizados durante a incidência de radiação solar são bastante influenciados. É também possível aferir-se que na situação c) existe uma variação muito reduzida dos valores da temperatura.

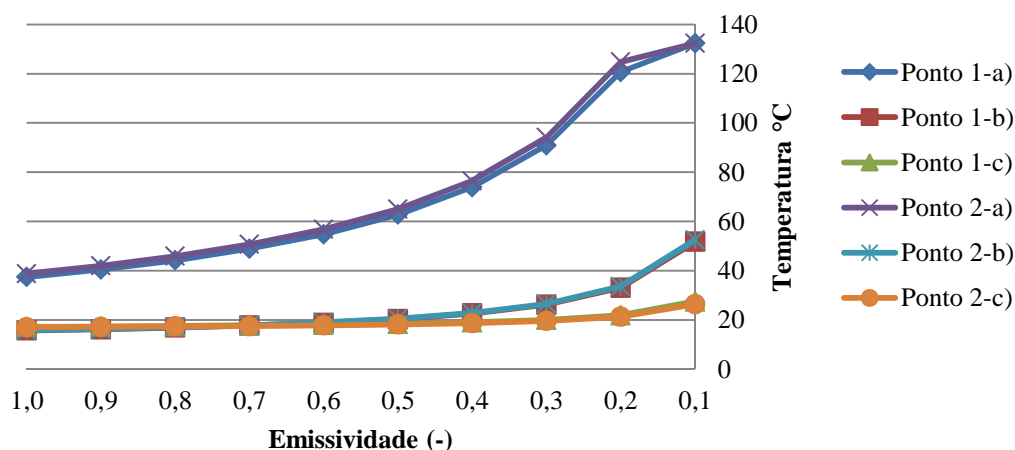


Figura 5-16: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 6

5.5.3 Caso 7

O caso 7 consistiu em avaliar três tipos de madeiras, Figura 5-17, correspondendo o número 1 a contraplacado, o número 2 a pinho e por último, a faia representada pelo número 3.

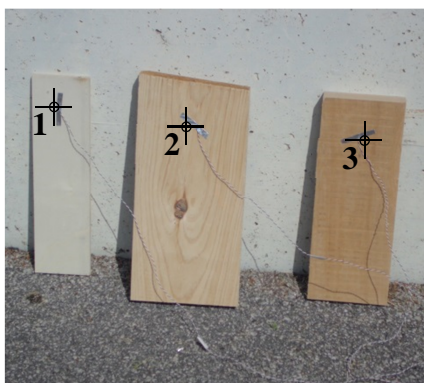


Figura 5-17: Materiais em estudo no caso 7

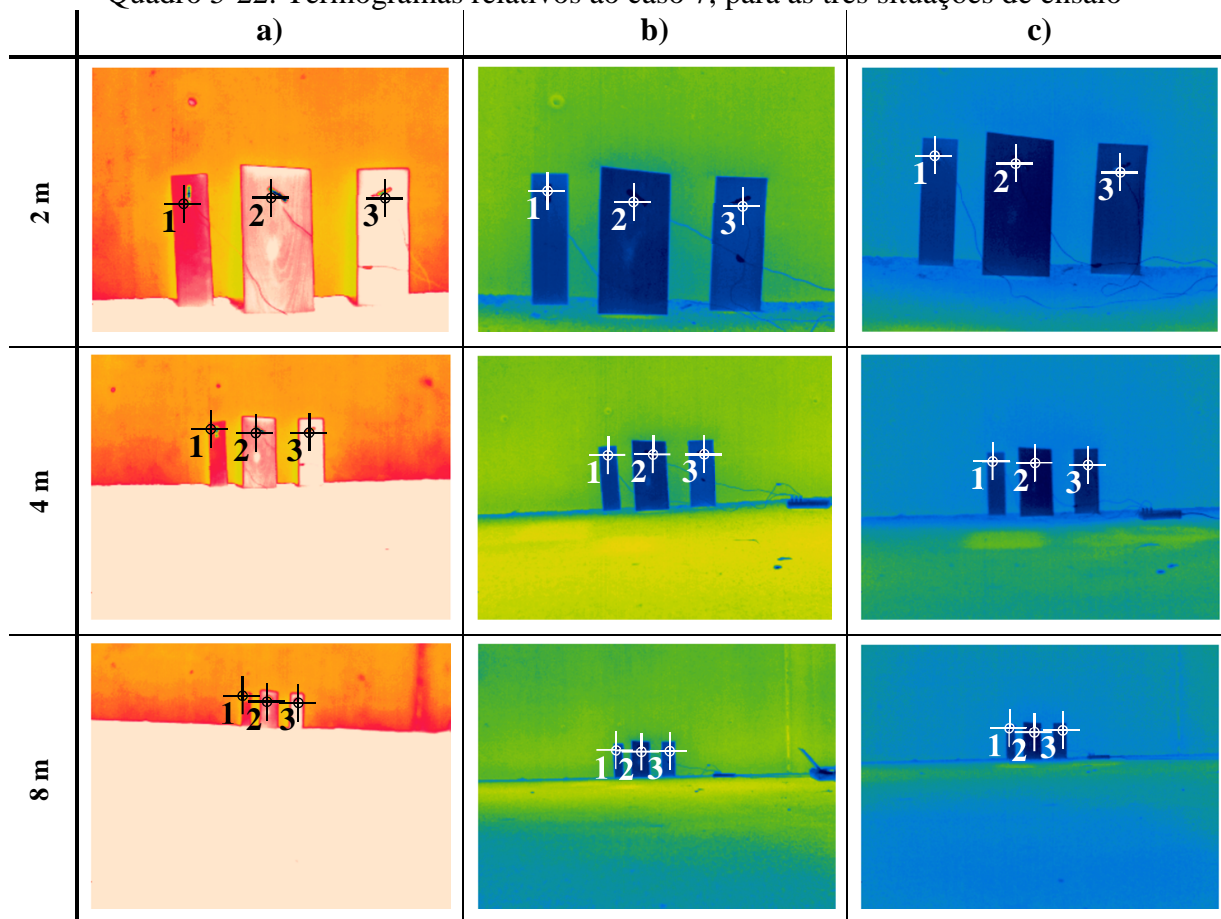
Os valores das emissividades para os diferentes materiais, Quadro 5-21, foram consultados em Mendonça (2005b) para os pontos 1, em Adendo (s.d.) para o ponto 2 e em Barreira (2004) para o ponto 3.

Quadro 5-21: Valores da emissividade para os materiais do caso 7

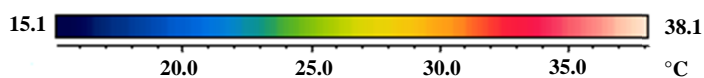
	1	2	3
Emissividade	0,83	0,90	0,94

No Quadro 5-22 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, e cuja sequência de termogramas apresentada se encontra à mesma escala de temperaturas.

Quadro 5-22: Termogramas relativos ao caso 7, para as três situações de ensaio



Escala utilizada:

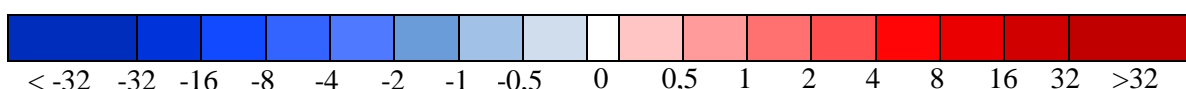


- **Diferencial de temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-23 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar o diferencial de temperaturas registradas entre os vários equipamentos.

Quadro 5-23: Resultados das medições efetuadas para o caso 7

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	36,6	17,9	18,1	39,4	17,6	16,9	41,7	18,4	17,4
Termopar [°C]	37,7	18,7	18,0	41,7	18,1	16,6	43,3	18,9	18,8
Termograma a 2,0 m [°C]	38,2	18,0	18,7	39,7	17,7	16,8	41,1	18,9	17,4
Termograma a 4,0 m [°C]	37,3	17,9	18,3	39,3	17,8	16,6	41,3	19,2	17,3
Termograma a 8,0 m [°C]	36,9	17,3	18,4	38,9	17,7	16,7	39,4	19,0	17,5
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	-1,1	-0,8	0,1	-2,3	-0,5	0,3	-1,6	-0,5	-1,4
TI vs. termograma [°C]									
2,0 m	-1,6	-0,1	-0,6	-0,3	-0,1	0,1	0,6	-0,5	0,0
4,0 m	-0,7	0,0	-0,2	0,1	-0,2	0,3	0,4	-0,8	0,1
8,0 m	-0,3	0,6	-0,3	0,5	-0,1	0,2	2,3	-0,6	-0,1
Termopar vs. termograma [°C]									
2,0 m	-0,5	0,7	-0,7	2,0	0,4	-0,2	2,2	0,0	1,4
4,0 m	0,4	0,8	-0,3	2,4	0,3	0,0	2,0	-0,3	1,5
8,0 m	0,8	1,4	-0,4	2,8	0,4	-0,1	3,9	-0,1	1,3



Após uma análise cuidada dos resultados é possível concluir que, de uma forma geral, as medições apresentam uma menor diferença entre os vários equipamentos quando realizadas na situação b) e c).

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-18 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, com os termogramas tirados a 4 m de distância. Analisando os resultados é possível observar que o comportamento das curvas dos três pontos de ensaio encontram-se agrupadas consoante a situação de ensaio em que se realizaram.

É também bastante perceptível que os valores da temperatura superficial, em função da diminuição da emissividade, atingem valores mais elevados na situação a), demonstrando

mais uma vez que os ensaios termográficos realizados durante a incidência de radiação solar direta são bastante influenciados. É ainda possível aferir-se que na situação c) existe uma variação muito reduzida dos valores da temperatura superficial.

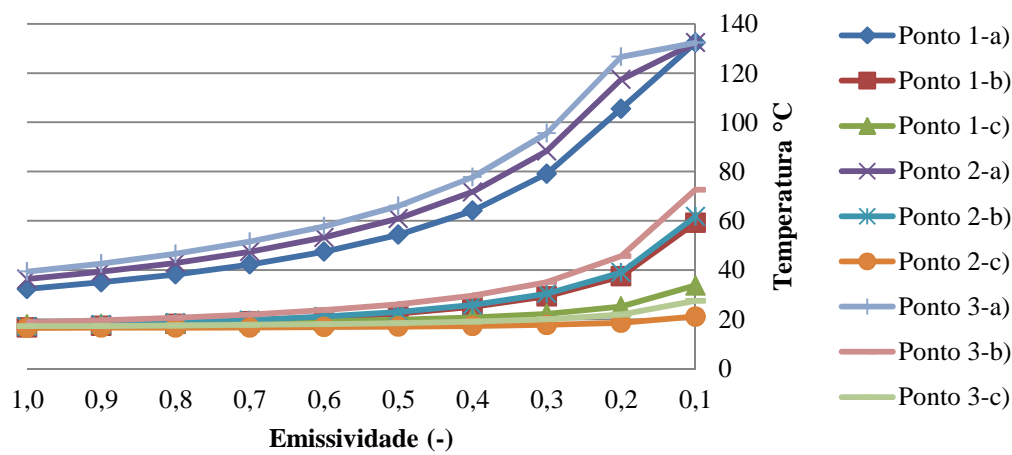


Figura 5-18: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 7

5.5.4 Caso 8

O caso 8 consistiu em avaliar 3 cores que foram previamente pintadas sobre uma parede de betão (Figura 5-19). O número 1 corresponde à cor amarela, o numero 2 à cor verde e por último, a cor azul é representada pelo número 3.



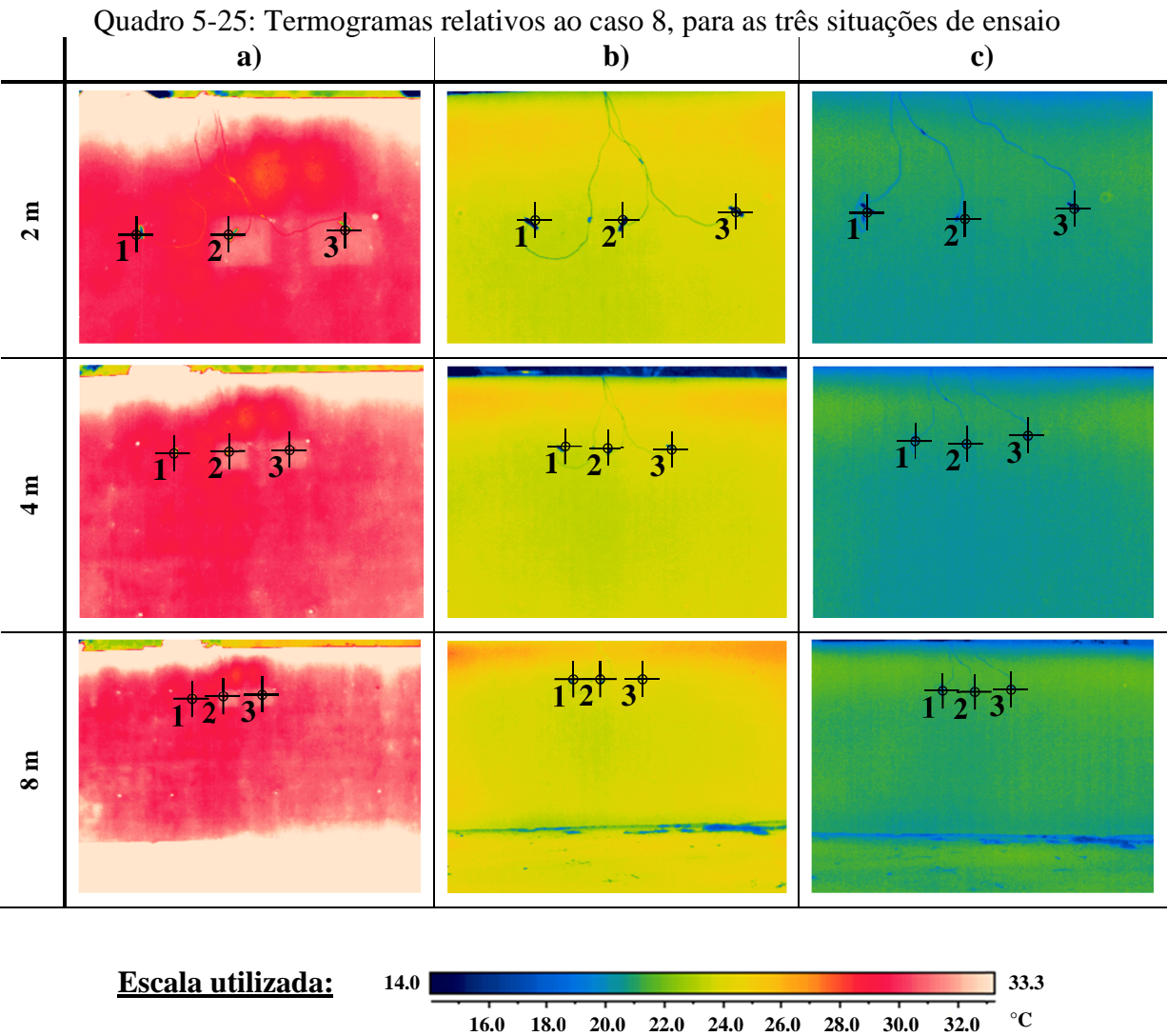
Figura 5-19: Materiais em estudo no caso 8

Os valores das emissividades para os diferentes materiais, Quadro 5-24, foram consultados em Barreira (2004).

Quadro 5-24: Valores da emissividade para os materiais do caso 8

	1	2	3
Emissividade	0,93	0,92	0,94

No Quadro 5-25 é possível observar os termogramas obtidos a partir do ensaio termográfico, referentes às três situações de ensaio, e cuja sequência de termogramas apresentada se encontra à mesma escala de temperaturas.

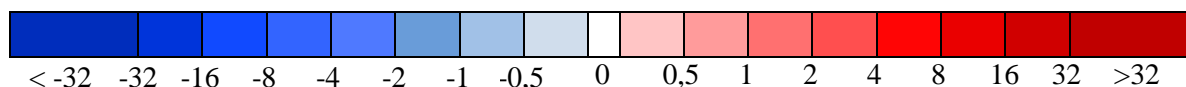


- Diferencial de temperatura superficial dos materiais segundo diversos equipamentos**

No Quadro 5-26 é possível observar os resultados das medições realizadas com os três equipamentos de ensaio, para as três situações de ensaio do dia, assim como também é possível visualizar o diferencial de temperaturas registradas entre os vários equipamentos.

Quadro 5-26: Resultados das medições efetuadas para o caso 8

Equipamento	1			2			3		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)	a)	b)	c)
TI [°C]	31,6	24,1	20,7	33,2	24,2	21,1	32,8	24,5	21,3
Termopar [°C]	30,9	24,3	21,8	32,6	24,5	21,4	33,6	24,7	21,5
Termograma a 2,0 m [°C]	31,4	24,3	21,0	32,6	24,7	21,2	32,2	24,8	21,1
Termograma a 4,0 m [°C]	31,4	24,1	21,1	32,7	24,6	21,2	32,2	24,7	20,9
Termograma a 8,0 m [°C]	31,2	24,4	21,4	32,7	25,0	21,2	31,8	24,9	21,6
Diferenças									
TI vs. termopar [°C]	0,7	-0,2	-1,1	0,6	-0,3	-0,3	-0,8	-0,2	-0,2
TI vs. termograma [°C]									
2,0 m	0,2	-0,2	-0,3	0,6	-0,5	-0,1	0,6	-0,3	0,2
4,0 m	0,2	0,0	-0,4	0,5	-0,4	-0,1	0,6	-0,2	0,4
8,0 m	0,4	-0,3	-0,7	0,5	-0,8	-0,1	1,0	-0,4	-0,3
Termopar vs. termograma [°C]									
2,0 m	-0,5	0,0	0,8	0,0	-0,2	0,2	1,4	-0,1	0,4
4,0 m	-0,5	0,2	0,7	-0,1	-0,1	0,2	1,4	0,0	0,6
8,0 m	-0,3	-0,1	0,4	-0,1	-0,5	0,2	1,8	-0,2	-0,1



Através de uma análise aos resultados obtidos é possível constatar que as diferenças nas medições efetuadas com os três equipamentos são muito pequenas entre elas, no entanto é possível constatar que as medições realizadas na situação b) e c) são aquelas que mais se aproximam.

O grupo de equipamentos onde, de uma maneira geral, se verifica o menor diferencial de temperatura é no TI vs. termograma.

- **Variação da emissividade em função da temperatura**

Na Figura 5-20 é possível visualizar o comportamento da temperatura em função da variação da emissividade, com os termogramas tirados a 4 m de distância. Analisando os resultados alcançados é bastante evidente que o comportamento das curvas dos três pontos de ensaio se encontram agrupadas consoante a situação de ensaio em que se realizaram.

É também bastante perceptível que os valores da temperatura superficial, em função da diminuição da emissividade, atingem valores mais elevados na situação a), demonstrando mais uma vez que os ensaios termográficos realizados durante a incidência de radiação solar são bastante influenciados.

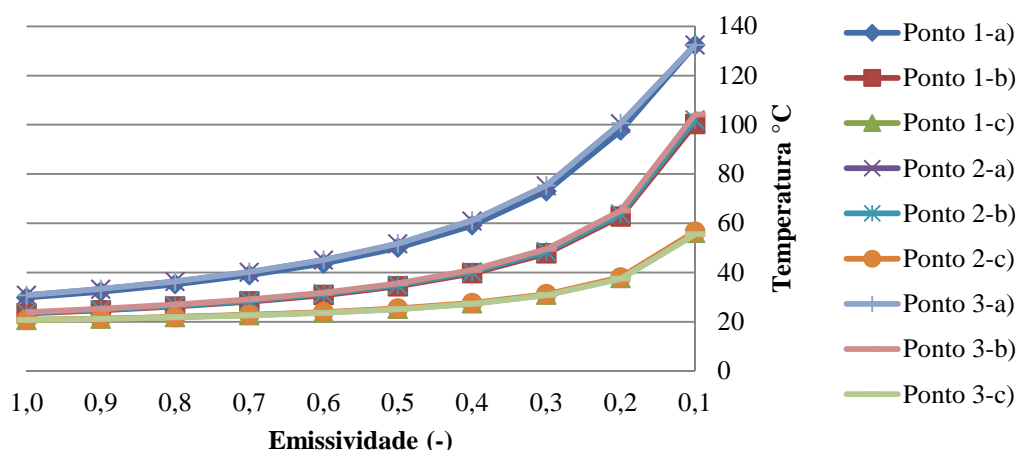


Figura 5-20: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 4 m, nos termogramas do caso 8

5.6 Considerações finais

Através da análise dos resultados referentes ao diferencial da temperatura superficial dos casos de estudo com os diferentes equipamentos, é possível aferir que de uma maneira geral, as medições realizadas aquando da ocorrência de sombra e durante a noite são aquelas que apresentam menores diferenciais de temperatura, podendo ser consideradas as melhores alturas para a realização dos ensaios.

A variação da distância não se evidenciou como sendo um fator determinante na variação dos valores das temperaturas obtidas para os diferentes casos de estudo, embora para grandes distâncias se torne difícil conseguir alcançar a localização exata de cada ponto, visto que os termogramas perdem o detalhe.

Foi possível constatar através dos casos 2 e 4, que materiais com emissividades baixas conduzem a diferenciais de temperatura elevados.

Concluiu-se também que certos materiais como a chapa de zinco, devido a ser um tipo de material que apresenta uma elevada refletividade, aliando também o seu baixo valor da emissividade, tornou difícil avaliar a sua temperatura superficial, pois apresentou-se muito inconstante.

No conjunto global das medições, não foi possível eleger-se o par de equipamentos que mais se assemelharam, visto que apresentaram comportamentos distintos consoante a situação de ensaio a que foram sujeitos. No entanto, verificou-se que as medições realizadas com o termómetro de infravermelhos e a câmara termográfica são aqueles que apresentam valores de temperatura mais semelhantes para as medições realizadas durante a situação b) e c).

No que respeita à variação da emissividade e às alterações que esta provoca na temperatura, foi possível observar que a temperatura, na maioria dos casos de estudo, aumenta consoante a

diminuição dos valores da emissividade. Nos casos em que ocorreu o comportamento contrário, foi possível concluir que isso se deveu ao facto de esses pontos apresentarem uma temperatura superficial inferior à temperatura refletida.

Foi bastante notório o comportamento evidenciado nas medições realizadas durante a situação a), nomeadamente grandes variações da temperatura, confirmando a ideia de que as temperaturas superficiais dos materiais quando sujeitos à incidência direta de radiação solar, são bastante influenciadas, pois tornam-se bastante mais elevadas.

Constatou-se também que os materiais que apresentam emissividades baixas são aqueles que apresentam uma maior variação de temperatura.

6. Conclusões

6.1 Conclusões gerais

Através da revisão bibliográfica efetuada foi possível concluir que a termografia de infravermelhos é uma potente ferramenta de diagnóstico aplicada em diversas áreas, desde a sua utilização em edifícios, passando pela ciência, história, arte, indústria, segurança e vigilância. No entanto, aquando da realização dos ensaios termográficos, estes podem facilmente ser influenciados por inúmeros fatores como a emissividade, a presença de objetos vizinhos, as condições climatéricas, a refletividade dos materiais, a incorreta focagem dos termogramas, assim como pela distância entre a câmara termográfica e o corpo em estudo.

A elaboração desta dissertação incidiu essencialmente na realização de duas campanhas experimentais, uma com o intuito de avaliar o processo de secagem e outra com o intuito de efetuar uma análise de sensibilidade. A avaliação do processo de secagem consistiu na utilização da câmara termográfica e do humidímetro, e a outra com o intuito de efetuar uma análise de sensibilidade, consistiu na utilização de três equipamentos de medição de temperaturas superficiais, sendo eles a câmara termográfica, termómetro de infravermelhos e os termopares.

Tendo por base o estudo efetuado no processo de secagem foi possível concluir que:

- A existência de nebulosidade revelou ser um fator com bastante influência nos resultados finais, exemplo disso é a comparação de resultados obtidos entre duas paredes num dia de nebulosidade, uma parede com incidência de radiação solar direta e outra sem incidência de radiação direta. No caso da parede que recebia radiação solar direta diariamente, mas que num dos dias se entrava sem a incidência de radiação solar, devido à nebulosidade, observou-se uma descida bastante evidente das temperaturas superficiais, enquanto na que não recebia radiação solar direta, foi

possível observar que esta não foi influenciada e continuou o seu processo de secagem e com isso um aumento das temperaturas superficiais;

- O elevado número de horas de exposição direta à radiação solar faz com que se verifique uma secagem mais rápida;
- Comparando os resultados de ambos os equipamentos, câmara termográfica e humidímetro, é possível atestar que globalmente os pontos onde se evidenciava uma maior percentagem de humidade foram aqueles onde nos termogramas ficaram representados pelas cores mais frias;
- A utilização do humidímetro de contacto evidenciou ser o mais adequado para este estudo, pois permite avaliar uma área de contacto, enquanto que com o humidímetro com sondas apenas se avaliam pequenos pontos da superfície da parede.

Tendo por base o estudo referente à análise de sensibilidade foi possível concluir que:

- Medições realizadas aquando da ocorrência de sombra e durante a noite são aquelas que apresentam menores diferenciais de temperatura, podendo ser consideradas as melhores alturas para a realização dos ensaios;
- A alteração da distância não se revelou como sendo um fator determinante na variação dos valores das temperaturas superficiais obtidas para a maioria dos casos de estudo, embora para grandes distâncias se tornasse difícil efetuar a localização exata de cada ponto, visto que os termogramas perdiam o detalhe;
- Materiais com emissividades baixas conduzem a diferenciais de temperatura elevados;
- Materiais que apresentam elevada refletividade e baixa emissividade dificultam a avaliação da sua temperatura superficial, apresentando temperaturas inconstantes, aquando da medição através da câmara termográfica;
- Verificou-se que na maioria dos casos, as medições realizadas com o termómetro de infravermelhos e a câmara termográfica são aquelas que apresentam valores de temperatura mais semelhantes para as medições realizadas durante a situação b) (entardecer) e c) (período noturno);
- Na maioria dos casos de estudo, a temperatura aumentou consoante a diminuição dos valores da emissividade. Nos casos em que ocorreu o comportamento contrário, foi possível concluir que isso se deveu ao facto de esses pontos apresentarem uma temperatura superficial inferior à temperatura refletida;
- As medições realizadas durante a situação a) (durante o dia) apresentaram grandes variações da temperatura, confirmando a ideia de que as temperaturas superficiais dos materiais, quando sujeitos à incidência direta de radiação solar, são bastante influenciadas, pois tornam-se bastante mais elevadas;
- Materiais que apresentam emissividades baixas são aqueles que apresentam uma maior variação de temperatura superficial.

6.2 Desenvolvimentos futuros

A diversidade de aplicações da termografia de infravermelhos, associada ao facto de ser uma técnica ainda em expansão, demonstra o seu potencial para a realização de trabalhos futuros, nomeadamente:

- Estudar a aplicação da termografia na avaliação de superfícies metálicas com emissividades muito baixas, para se tentar averiguar qual a melhor solução para que sejam evitadas as variações bruscas que as temperaturas superficiais destes materiais apresentam;
- Avaliar o efeito do aquecimento/arrefecimento artificial (termografia ativa vs. termografia passiva) das superfícies em estudo como forma de evidenciar as anomalias.

REFERÊNCIAS

- Adendo (s.d). *Contemp- tabela de emissividades*. Recuperado em 28 março, 2014, de [http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/tabela de emissividade .pdf](http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/tabela_de_emissividade.pdf)
- Albatici, R., Passerini, F., Tonelli, A. M., & Gialanella, S. (2013). Assessment of the thermal emissivity value of building materials using an infrared thermovision technique emissometer. *Energy and Buildings*, 66, 33-40.
- Apiste Corporation (s.d.). Recuperado em 1 de março, 2014, de http://www.apiste-global.com/fsv/technology_fsv/detail/id=1187
- ArchiTecno (s.d.). Recuperado em 13 de março, 2014, de <http://www.diagnositermografiche.it/termografia/termografia.htm>
- ASTM E1933-97 (1997). Standard test methods for measuring and compensating for emissivity using infrared imaging radiometers, *American Society for Testing and Materials*, Pennsylvania, USA.
- Avdelidis, N. P., & Moropoulou, A. (2003). Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, 35, 663-667.
- Balaras, C. A., & Argiriou, A. A. (2002). Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, 34, 171-183.
- Barreira, E. (2004). *Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Barreira, E., & de Freitas, V. P. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21, 218-224.
- Cerdeira, F., Vázquez, M. E., Collazo, J., & Granada, E. (2011). Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, 43, 1845-1851.
- Craveiro, M. (2008). *Desenvolvimento de um sistema para avaliação dos fatores de influência sobre análises termográficas em subestações desabrigadas* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá

Edis, E., Flores-Colen, I., & de Brito, J. (2014). Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. *Construction and Building Materials*, 51, 187-197.

Edis, E., Flores-Colen, I., & de Brito, J. (2011). Effect of the inspection conditions on the in-situ infrared thermographic examination of façades with adhered ceramic cladding. In *Proceedings of 12th international conference on durability of building materials and components*. Porto: FEUP (pp. 957-64).

Fraga, A. S., Tavares, M. R., Martins, K. & Rossi, F. (2009). *Ensaaios não destrutivos-termografia*. Recuperado em 3 de fevereiro, 2014, <http://pt.scribd.com/doc/21565850/Ensaaios-nao-Destrutivos-Termografia>

Flir (2011). *Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable*. Flir Systems

Flir (2009). *Manual do utilizador: Flir QuickReport versão 1.2 do programa*. Recuperado em 11 de fevereiro, 2014, de [http://support.flir.com/DocDownload/Assets/44/Portuguese/1558640\\$a362.pdf](http://support.flir.com/DocDownload/Assets/44/Portuguese/1558640$a362.pdf)

Flir Systems (2006). *ThermaCAMTM E300: User's manual*. Recuperado em 11 de fevereiro, 2014, de <http://www.alpine-components.co.uk/files/manuals-downloads/FLIR-E300-Manual.pdf>

Flir Systems (s.d.). *Keeping the spread of viral infections under control: infrared thermography helps to detect and contain the spreading of bird flu and other viral diseases*. Flir Sweden. Sweden. Recuperado em 15 março, 2014, de http://support.flir.com/appstories/AppStories/Medical/Viral_infections_EN.pdf

Fluke (2006). *Fluke 561 multipurpose thermometer: combined infrared and contact thermometer*. Fluke Europe B.V. The Netherlands. Recuperado em 2 de junho, 2014, de <http://www.wecl.com.hk/downloads/pdf/59-07-0561.pdf>

Gaussorgues, Gilbert (1999). *La thermographie infrarouge – Principes, Technologies, Applications* (4.ª edição). Editions TEC & DOC, Paris. Recuperado em 11 de fevereiro, 2014, de <http://www.youscribe.com/catalogue/livres/savoirs/la-thermographie-infrarouge-principes-technologie-applications-4-2393396>

Gonçalves, T. (2011). *Análise de sistemas de energia e máquinas eléctricas com recurso a termografia* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

REFERÊNCIAS

Grinzato, E., Bressan, C., Marinetti, S., Bison, P. G., & Bonacina, C. (2002). Monitoring of the Scrovegni Chapel by IR thermography: Giotto at infrared. *Infrared physics & technology*, 43, 165-169.

Infratemp – Soluções para processos industriais (2010). *Teoria infravermelha: teoria básica*. Recuperado 16 de fevereiro, 2014, de <http://www.infratemp.com.br/assets/uploads/downloads/infratemp-downloads-20131217101142-termometria-infraver.pdf>

IPAC- Infrared Processing and Analysis Center. Recuperado em 5 de fevereiro, 2014, de <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/sitemap.html#imagegalleries>

ITEAG. *Termografia: teoria, procedimentos e vantagens*. Portugal 2010. Recuperado em 13 de Janeiro, 2014, de <http://www.iteag.net/termografia.pdf>

Lerma, J. L., Cabrelles, M., & Portalés, C. (2011). Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade. *Construction and Building Materials*, 25, 2190-2197.

Mamede, M. (2012). *Caracterização experimental e numérica do desempenho térmico de um edifício “gaioleiro” - Identificação de oportunidades de melhoria* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

Mateus, F. (2013). *Termografia em diagnóstico de revestimentos em azulejo* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Mendonça, L. V. (2005a). Termografia por Infravermelhos: Inspeção de Betão. *Revista Engenharia & Vida, Lisboa, 1*, 53-57.

Mendonça, P. (2005b). *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solarems passivas em climas temperados* (Tese de Doutoramento). Universidade do Minho. Guimarães

MRA Instrumentação (s.d.). Recuperado em 13 de março, 2014, de <http://www.mra.pt/industria/produtos/termografia-e-camaras-de-visao-termica/camaras-termograficas-investigacao-e-desenvolvimento/assinaturas-termicas/fotos/>

NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado em 5 de fevereiro, 2014, de <http://www.meteopt.com/forum/tempo-tropical/ciclone-tropical-ian-pacifico-sul-2014-a-7486.html>

Ocaña, S. M., Guerrero, I. C., & Requena, I. G. (2004). Thermographic survey of two rural buildings in Spain. *Energy and Buildings*, 36, 515-523.

Oliveira, G. (2013). *Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Pico Technology Lda. (2010). *TC-08 Thermocouple data logger*. Recuperado em 27 de maio, 2014, de <http://www.picotech.com/document/datasheets/usb-tc08-3.pdf>

Pico Technology Lda. (2005). *TC-08 Thermocouple data logger: User's guide*. Recuperado em 27 de maio, 2014, de <http://www.picotech.com/document/pdf/tc08-3.pdf>

Rajewski, G., & Devine, G. (1996). Building Envelope—infrared thermography, preventative roof maintenance workshop. *Building operator association*.

Santos, L. (2006). *Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

Silva, D. (2012). *Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Silvano, S. (2012). *Medição de emissividade de superfícies à temperatura ambiente* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Sousa, L. (2010). *Aplicação de termografia no estudo do isolamento térmico de edifícios* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Testo (2012). *Pocket guide thermography: theory- practical application- tips & tricks*. Recuperado em 27 de março, 2014, de http://www.testo-international.com/media/local_media/870downloads/pocket_guide_thermography/pocket_guide_ti_04_2013_en.pdf

Tramex (s.d.a). *MRH III: non-destructive moisture & humidity meter user's guide*. Recuperado em 21 de maio, 2014, de http://www.inspectortools.com/v/vspfiles/downloadables/Tramex_MRH_III_Guide.pdf

Tramex (s.d.b). *MRH III: The complete moisture and humidity meter*. Recuperado em 21 de maio, 2014, de http://www.inspectortools.com/v/vspfiles/downloadables/Product_Data_Sheet_New_MRH_Moisture_and_Humidity_Measurement_Meter_US.pdf

Villate, J. E. (2005). *Física Moderna: texto de apoio para docentes do 12º ano*. Recuperado em 13 de abril, 2014, de <http://fisica.fe.up.pt/fisica12/fismoderna.pdf>

APÊNDICE 1- Estudo da secagem

- Condições do ensaio termográfico, para o estudo da secagem

		Temperatura refletida [°C]				Temperatura atmosférica [°C]	Humidade relativa [%]
		Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4		
Dia 1	10h	13,2	7,7	6,1	1,0	9,8	64,1
	12h	13,0	10,1	6,1	1,9	12,2	57,8
	14h	12,4	9,9	7,0	4,6	14,1	51,0
	16h	12,5	10,6	6,4	3,5	15,2	49,8
	18h	12,4	8,6	4,6	1,4	13,3	66,2
Dia 2	10h	13,5	8,4	5,1	1,2	11,0	72,6
	12h	14,5	12,5	5,4	4,0	16,0	48,2
	14h	14,3	12,3	8,0	6,1	17,9	40,8
	16h	15,3	12,3	8,9	11,5	18,3	39,7
	18h	13,3	11,4	7,3	5,1	17,1	44,2
Dia 3	10h	16,9	10,3	6,5	3,7	14,5	52,3
	12h	16,7	13,7	8,1	4,9	17,5	32,2
	14h	17,4	13,8	13,1	4,8	19,4	29,3
	16h	17,9	13,3	11,4	4,4	19,8	31,0
	18h	14,8	11,0	10,3	3,4	18,3	41,1
Dia 4	10h	18,9	13,5	10,4	3,6	16,0	45,4
	12h	18,9	15,0	12,1	5,5	19,0	38,6
	14h	16,3	14,0	10,8	5,3	20,6	27,4
	16h	15,7	14,0	10,5	4,7	20,2	29,8
	18h	14,6	9,9	8,2	3,8	17,5	30,2
Dia 5	10h	15,7	12,9	11,9	7,5	14,9	34,7
	12h	17,5	15,7	14,1	9,0	18,3	30,2
	14h	17,4	15,4	12,5	7,8	21,0	25,7
	16h	16,6	16,3	13,9	8,1	19,4	31,2
	18h	13,3	12,2	9,6	6,9	16,8	33,1
Dia 6	10h	15,9	10,1	3,3	4,9	12,9	46,7
	12h	16,0	13,5	6,5	5,5	16,0	39,9
	14h	15,6	14,5	6,2	4,9	17,4	38,5
	16h	14,7	12,8	8,5	4,8	17,3	44,9
	18h	13,6	11,7	6,8	4,3	14,1	76,4

- **Valores das leituras registadas com o Humidímetro.**

- **Caso 1**

Dia 1	Humidímetro de contacto			Humidímetro com sondas		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
10:00h	13	38	51	15,3	27,5	27
12:00h	8	33	50	10,8	27,4	27,6
14:00h	2	31	49	9,9	23,4	25,6
16:00h	7	39	50	12,4	27,6	27,6
18:00h	8	36	53	11,3	25,1	26,8
Dia 2						
10:00h	10	41	59	12,7	27,5	28,1
12:00h	8	30	53	12,7	27,3	26,4
14:00h	6	29	51	13,1	25,9	26
16:00h	4	28	44	13,6	21,2	26,4
18:00h	3	25	42	13,3	19,6	26
Dia 3						
10:00h	4	28	49	15,4	22	28,5
12:00h	2	24	37	13,7	21,1	27,9
14:00h	99*	21	28	11,7	20,2	26,8
16:00h	99*	20	24	13,7	19,4	26,7
18:00h	99*	19	23	12,9	14,4	25,9
Dia 4						
10:00h	99*	24	26	15,1	23,8	25,8
12:00h	99*	19	16	15	23,1	25,5
14:00h	98*	17	10	13,2	22,6	25,3
16:00h	95*	17	10	13,2	20,7	24,5
18:00h	91*	15	8	10,3	20,4	24,3
Dia 5						
10:00h	94*	20	10	13,2	20,8	25
12:00h	91*	19	10	13,2	20,1	24,7
14:00h	90*	18	9	12,9	19,9	24,5
16:00h	90*	16	6	12,4	19,8	24,6
18:00h	89*	16	6	11,9	19,7	23,8
Dia 6						
10:00h	90*	17	2	13,6	16,3	24,3
12:00h	86*	14	2	13	12,4	21,6
14:00h	85*	12	99*	11,8	10,3	22
16:00h	84*	11	99*	11,5	11	22
18:00h	81*	10	99*	11,3	11,2	22

Nota: *escala “DRYWALL” e L0 - O aparelho não detetou qualquer valor.

APÊNDICE 1

• Caso 2

Dia 1	Humidímetro de contacto			Humidímetro com sondas		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
10:00h	8	12	24	21,2	23,1	25,9
12:00h	7	10	24	20,9	21,9	25,6
14:00h	4	10	23	19,3	20,6	24,8
16:00h	6	7	22	16,3	17,6	24,1
18:00h	6	7	17	16,8	16,2	22,4
Dia 2						
10:00h	12	17	28	23,1	22,7	25,1
12:00h	4	16	28	21,2	22,7	24,9
14:00h	4	10	26	17,5	20,2	24,7
16:00h	5	7	21	15,9	20,1	25
18:00h	2	5	19	14,6	18,5	24,7
Dia 3						
10:00h	6	7	27	21,2	19,4	22,9
12:00h	3	6	22	20,4	17,8	23,1
14:00h	2	4	19	19,5	17,6	22,9
16:00h	1	3	15	16,7	15,3	22,7
18:00h	0	2	10	13,9	13,2	22,5
Dia 4						
10:00h	98*	1	17	16,6	16,2	23,1
12:00h	96*	1	12	16,5	15,9	22,8
14:00h	93*	98*	2	14,6	14,4	22,6
16:00h	91*	95*	2	13,8	13,2	22,5
18:00h	88*	92*	2	13,2	11	22
Dia 5						
10:00h	82*	89*	2	12,8	12,4	22,7
12:00h	82*	89*	2	12,7	12,1	21,9
14:00h	82*	87*	1	12,4	11,9	21,7
16:00h	80*	87*	1	11,8	11,4	21,4
18:00h	79*	84*	1	11,3	10,5	21,4
Dia 6						
10:00h	75*	82*	99*	12,5	11,5	21
12:00h	75*	81*	97*	12,4	10,1	20,6
14:00h	72*	78*	93*	12	LO	20,7
16:00h	71*	75*	93*	11,4	8,8	20,9
18:00h	69*	74*	90*	10,6	8,6	20,3

Nota: *escala “DRYWALL” e L0 - O aparelho não detetou qualquer valor.

- **Caso 3**

Dia 1	Humidímetro de contacto			Humidímetro com sondas		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
10:00h	22	32	36	26	20,4	28,3
12:00h	21	32	39	26,2	19,1	27,6
14:00h	20	31	39	25,4	18,9	26,3
16:00h	21	32	39	26,8	21,1	25,2
18:00h	21	28	37	26,5	25,6	22,8
Dia 2						
10:00h	26	38	45	28,5	26,4	25,2
12:00h	26	36	42	27,4	24,7	27
14:00h	24	32	41	26,8	24,5	26,5
16:00h	20	28	38	26,5	25,9	26,2
18:00h	19	25	34	25,8	25,2	25,9
Dia 3						
10:00h	19	26	37	26,1	25,2	26,5
12:00h	14	21	33	26	25,2	26
14:00h	13	20	31	25,2	24,8	23,1
16:00h	10	16	23	24,8	24,5	20,4
18:00h	9	13	21	24,4	23,5	16,1
Dia 4						
10:00h	12	18	24	24,7	24	22,3
12:00h	10	17	21	24,3	23,9	22,9
14:00h	8	12	14	23,9	23,6	22,2
16:00h	7	10	14	23,3	22,9	21,6
18:00h	6	9	11	22,7	23,1	21,5
Dia 5						
10:00h	7	8	15	22,8	21	24,8
12:00h	7	8	11	22,5	20,9	24,7
14:00h	7	7	9	21,9	19,7	24,6
16:00h	7	7	9	21,8	17,9	24,5
18:00h	7	7	9	21,4	17,7	24,5
Dia 6						
10:00h	9	11	7	17,8	17,7	26
12:00h	3	6	2	16,8	15,7	25,8
14:00h	3	6	2	15,4	15,6	25,7
16:00h	3	3	1	15,1	15,2	25,2
18:00h	2	3	1	14,9	15,1	24,9

Nota: *escala “DRYWALL” e **L0** - O aparelho não detetou qualquer valor.

APÊNDICE 1

• Caso 4

	Humidímetro de contacto			Humidímetro com sondas		
Dia 1	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
10:00h	16	13	19	26,2	25,8	25,6
12:00h	7	0	7	22,7	23,5	22,3
14:00h	0	0	6	13,2	16,9	13,3
16:00h	99*	93*	4	7,7	7,7	12,4
18:00h	96*	90*	3	7,2	8,9	15,2
Dia 2						
10:00h	2	99*	12	19,8	19,9	26,4
12:00h	93*	92*	7	12,8	15,6	24,5
14:00h	81*	91*	6	11,3	10,8	22
16:00h	77*	81*	4	10,7	8,5	21,9
18:00h	74*	76*	2	10,6	8,4	20,8
Dia 3						
10:00h	96*	93*	4	13,8	15,4	24
12:00h	86*	86*	2	9,7	L0	21,2
14:00h	84*	79*	1	8,4	L0	18,6
16:00h	81*	78*	99*	7,9	L0	14,6
18:00h	79*	76*	2	9,2	L0	12,4
Dia 4						
10:00h	91*	91*	4	14,5	L0	20,7
12:00h	86*	86*	1	13,6	9,6	17,7
14:00h	82*	79*	2	11,1	L0	13,8
16:00h	81*	79*	1	10,9	L0	12,8
18:00h	78*	79*	95*	11,2	L0	11,1
Dia 5						
10:00h	91*	89*	4	15,3	L0	18,9
12:00h	86*	86*	2	14,3	9,7	17,9
14:00h	83*	82*	2	13	L0	15,9
16:00h	81*	80*	1	12,4	7,1	13,7
18:00h	79*	81*	1	12,1	9,2	13,5
Dia 6						
10:00h	86*	87*	98*	16,1	11,4	18,5
12:00h	84*	83*	97*	13,7	10	15,3
14:00h	83*	80*	97*	12,1	L0	11
16:00h	78*	79*	94*	12	8,9	10,9
18:00h	75*	77*	90*	11,7	7,6	10,7

Nota: *escala “DRYWALL” e L0 - O aparelho não detetou qualquer valor.

APÊNDICE 2- Análise de sensibilidade

Valores da temperatura em função da variação da emissividade e da distância

- Casos de estudo *in situ*:
- Caso 1

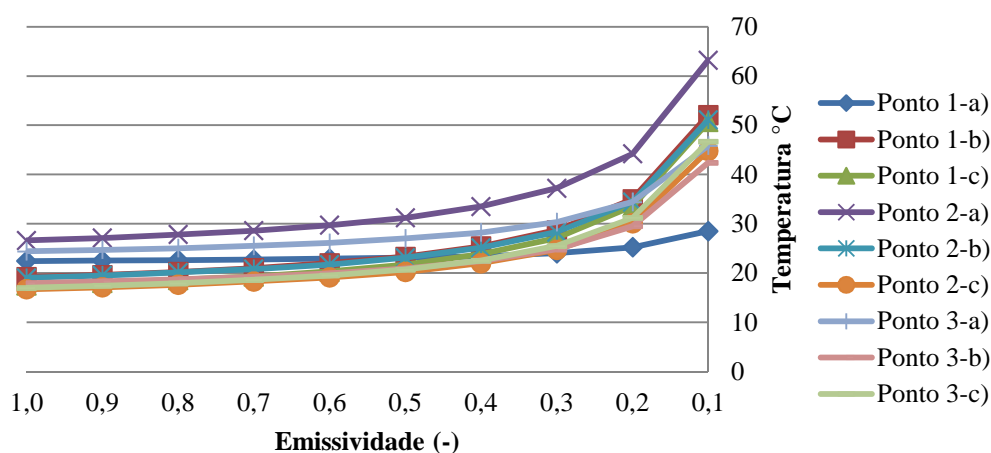


Figura A2-1: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 10 m, referente ao caso 1

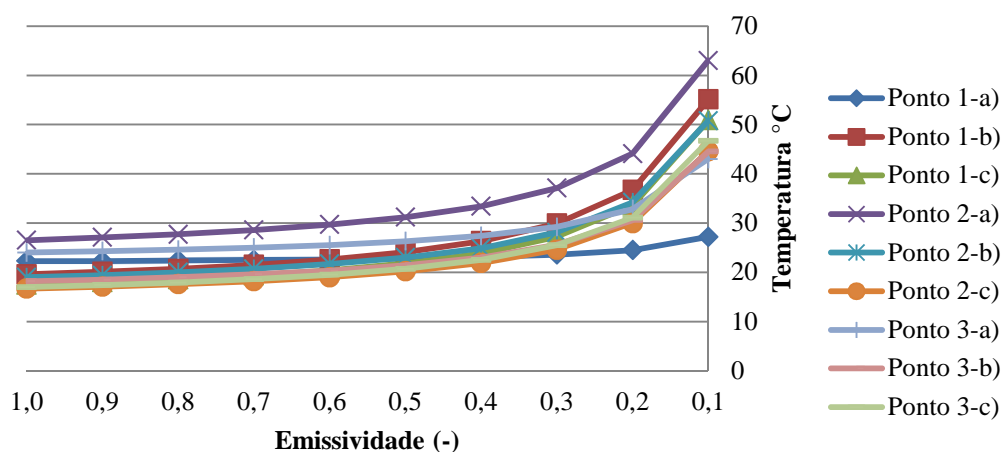


Figura A2-2: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 12 m, referente ao caso 1

- Caso 2

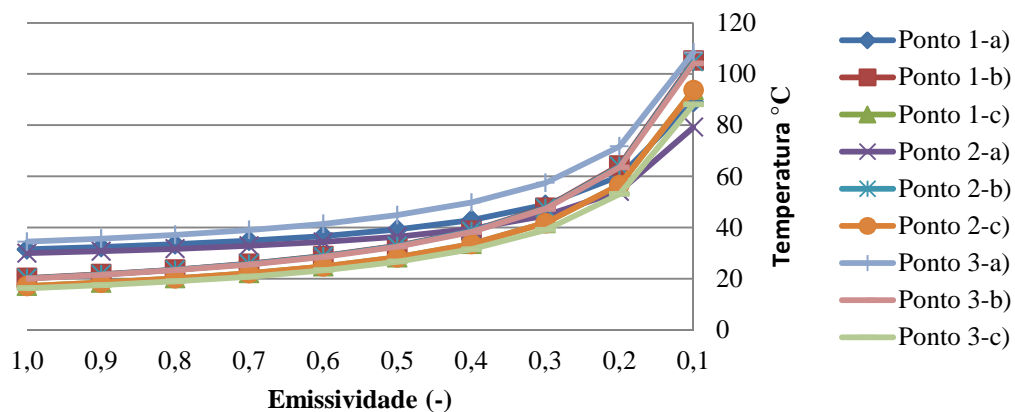


Figura A2-3: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,5 m, referente ao caso 2

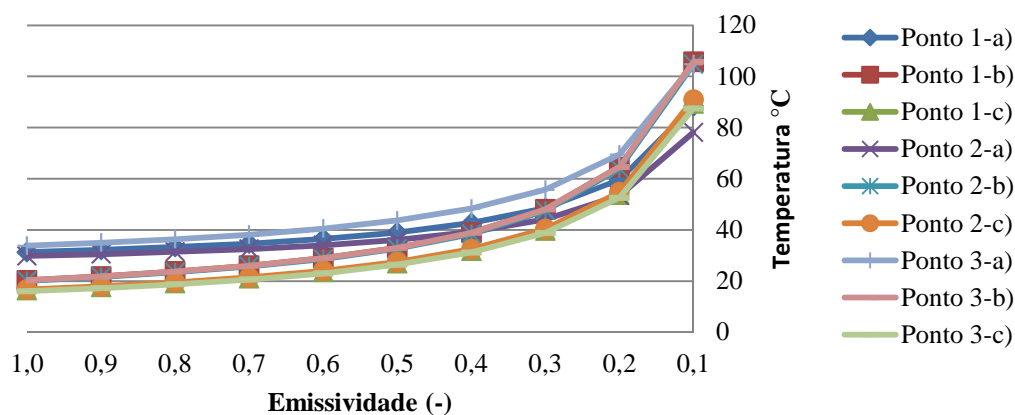


Figura A2-4: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 10 m, referente ao caso 2

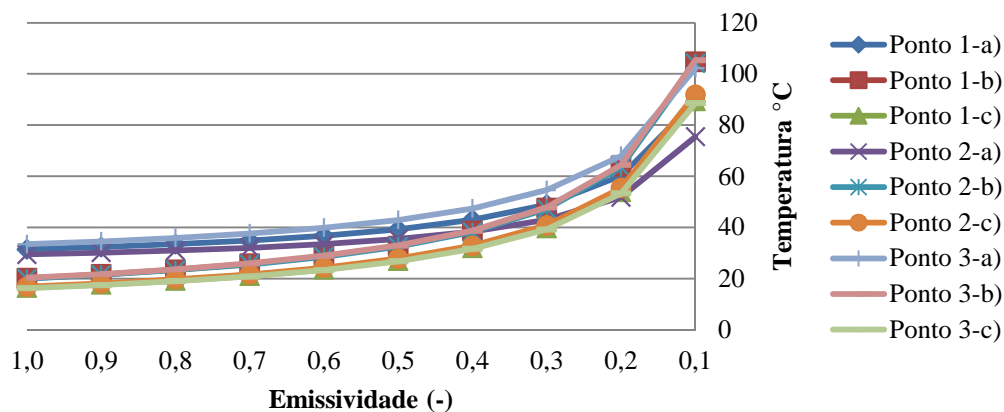


Figura A2-5: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 20 m, referente ao caso 2

• Caso 3

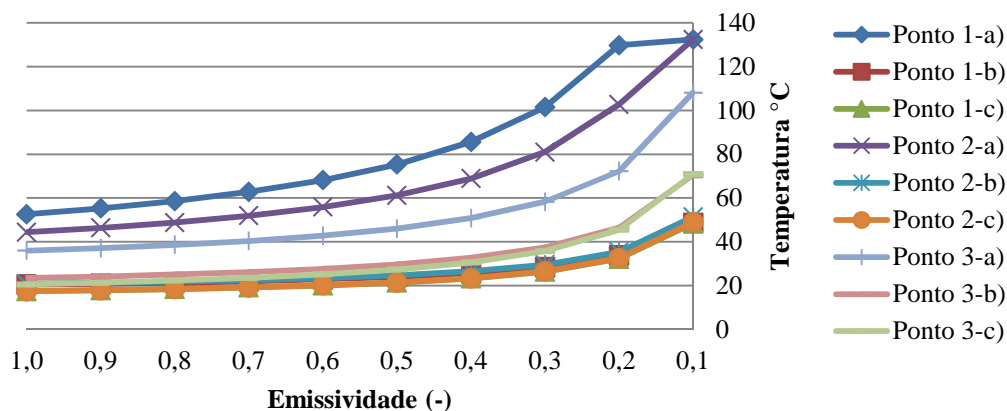


Figura A2-6: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,5 m, referente ao caso 3

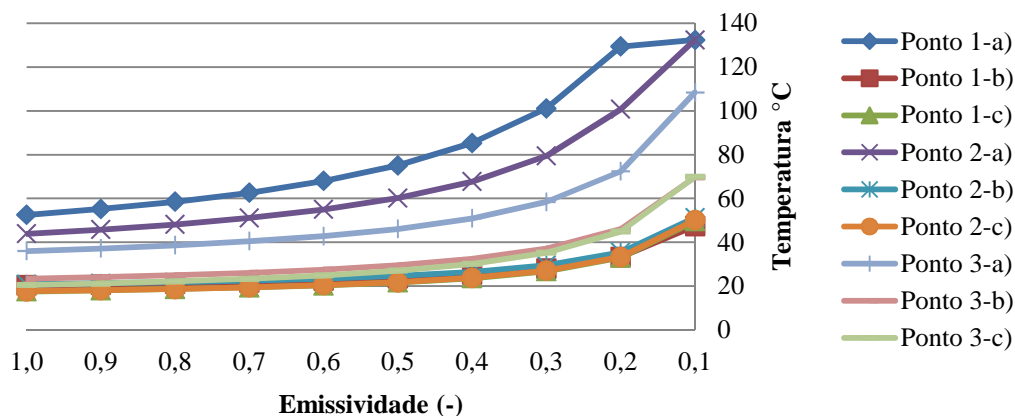


Figura A2-7: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 10 m, referente ao caso 3

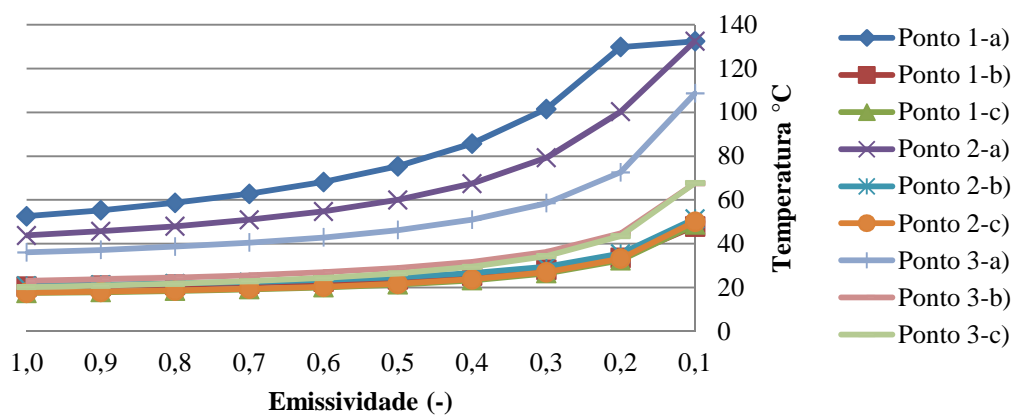


Figura A2-8: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 15 m, referente ao caso 3

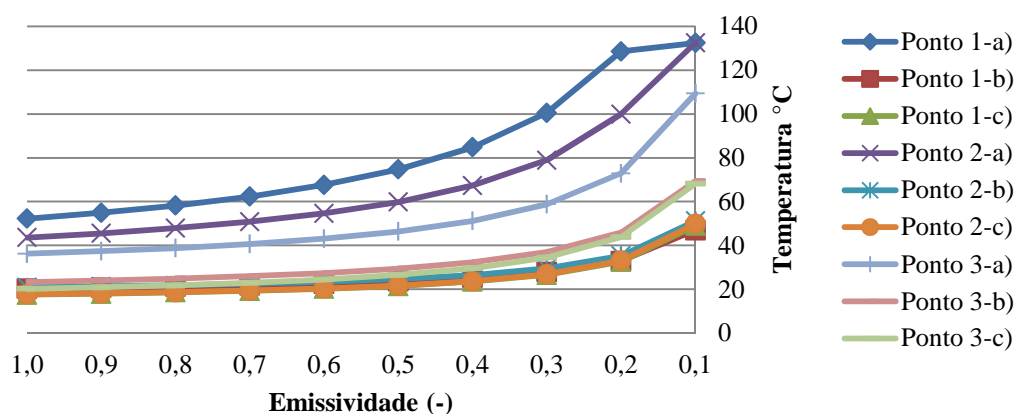


Figura A2-9: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 20 m, referente ao caso 3

- Caso 4

Medição $\alpha 1$

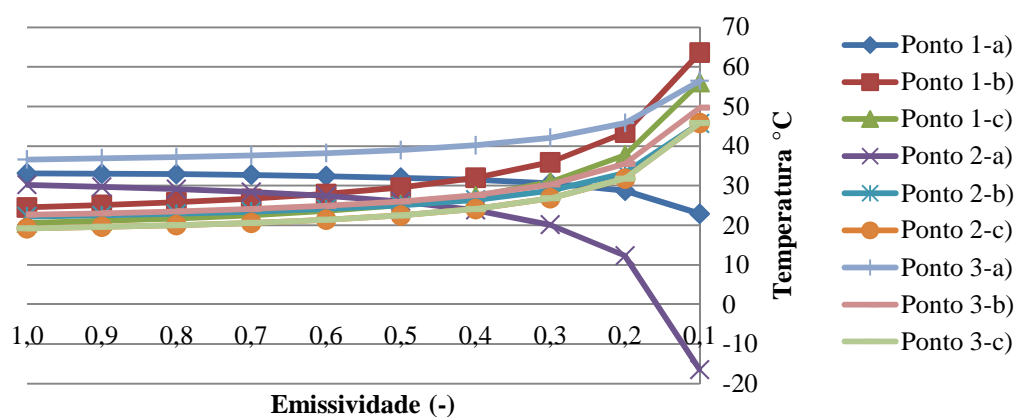


Figura A2-10: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,5 m (medição $\alpha 1$), referente ao caso 4

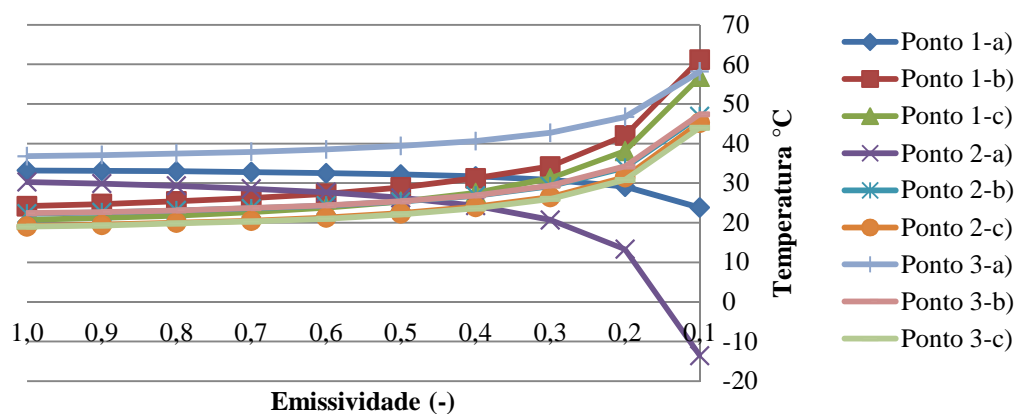


Figura A2-11: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 10 m (medição $\alpha 1$), referente ao caso 4

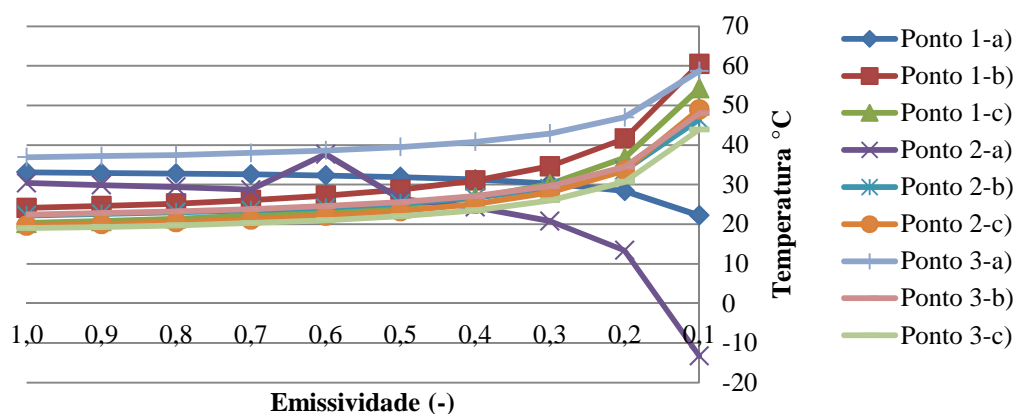


Figura A2-12: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 15 m (medição $\alpha 1$), referente ao caso 4

Medição $\alpha 2$

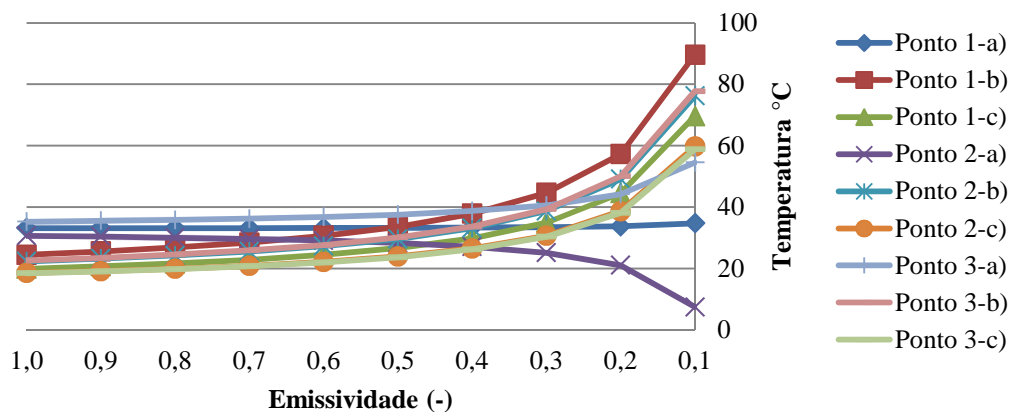


Figura A2-13: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,5 m (medição $\alpha 2$), referente ao caso 4

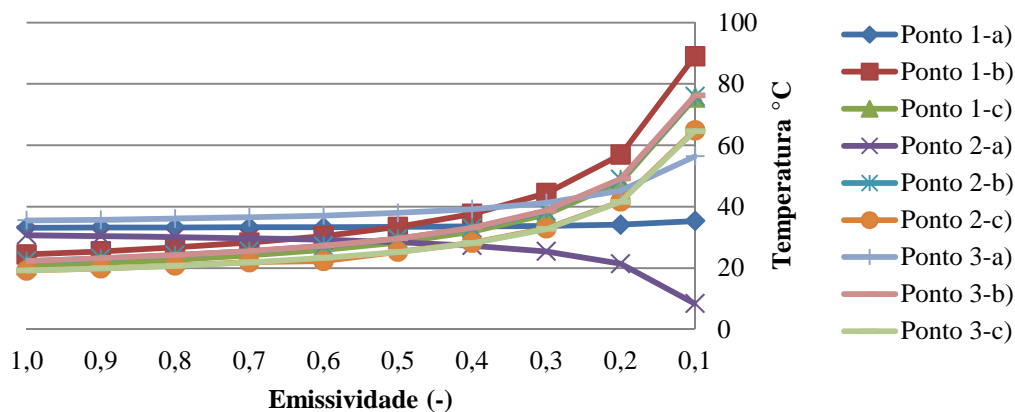


Figura A2-14: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 10 m (medição $\alpha 2$), referente ao caso 4

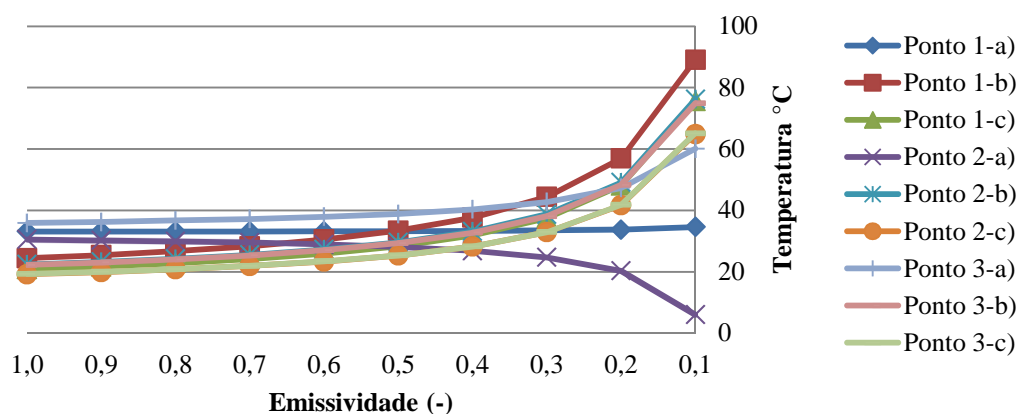


Figura A2-15: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 15 m (medição α_2), referente ao caso 4

- **Casos de estudo em laboratório:**

- Caso 5

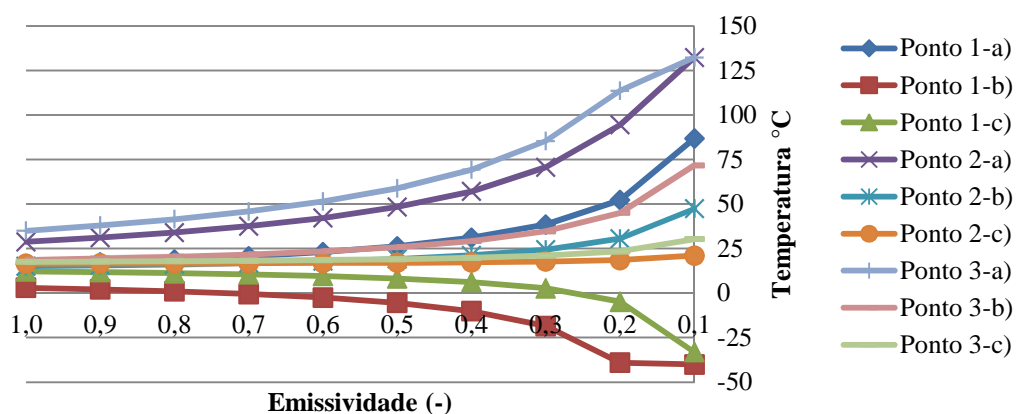


Figura A2-16: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,0 m, referente ao caso 5

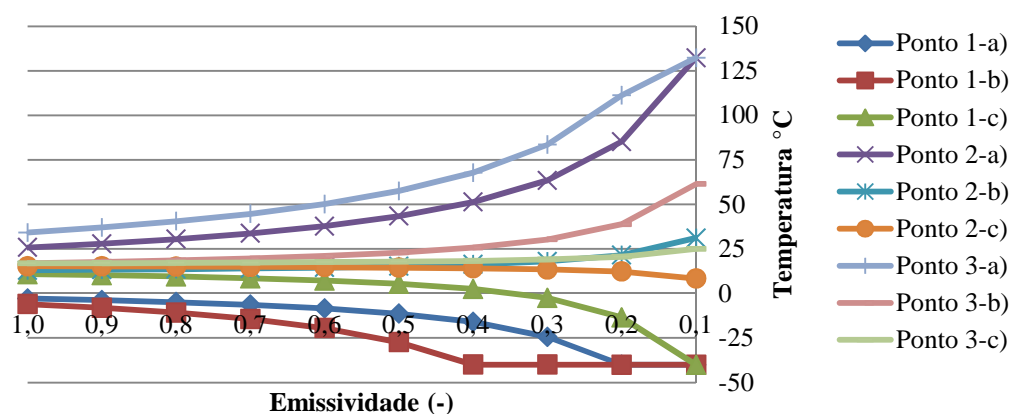


Figura A2-17: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 8,0 m, referente ao caso 5

- Caso 6

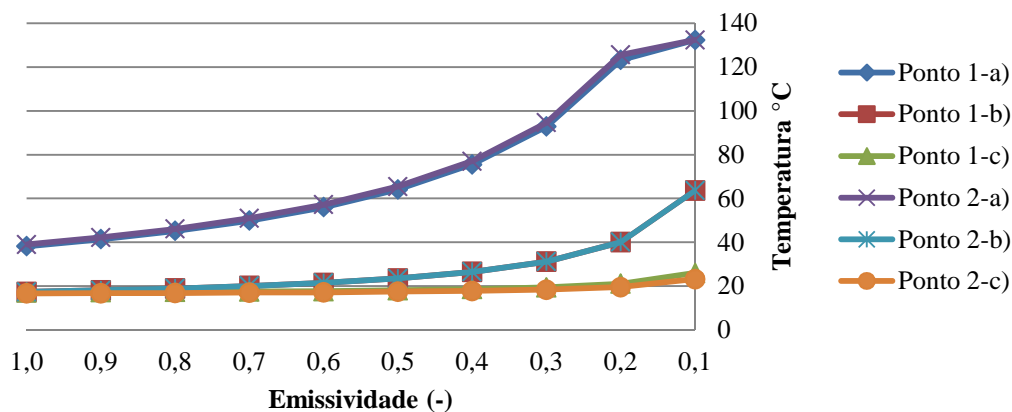


Figura A2-18: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,0 m, referente ao caso 6

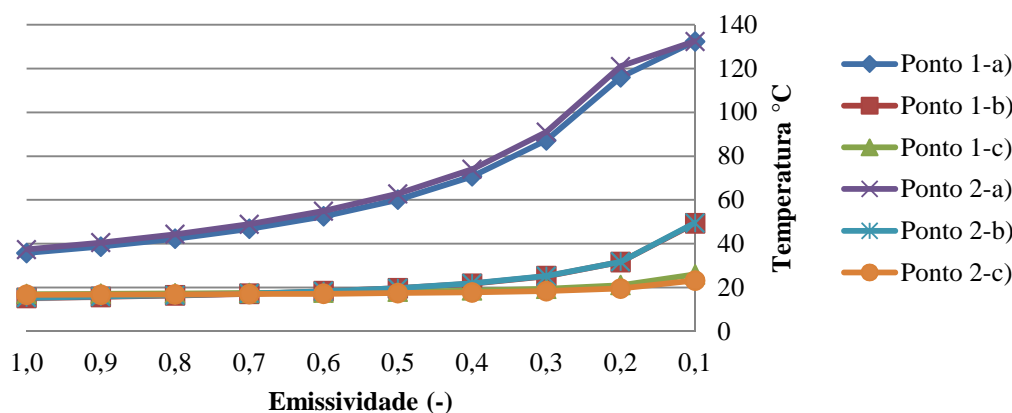


Figura A2-19: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 8,0 m, referente ao caso 6

- Caso 7

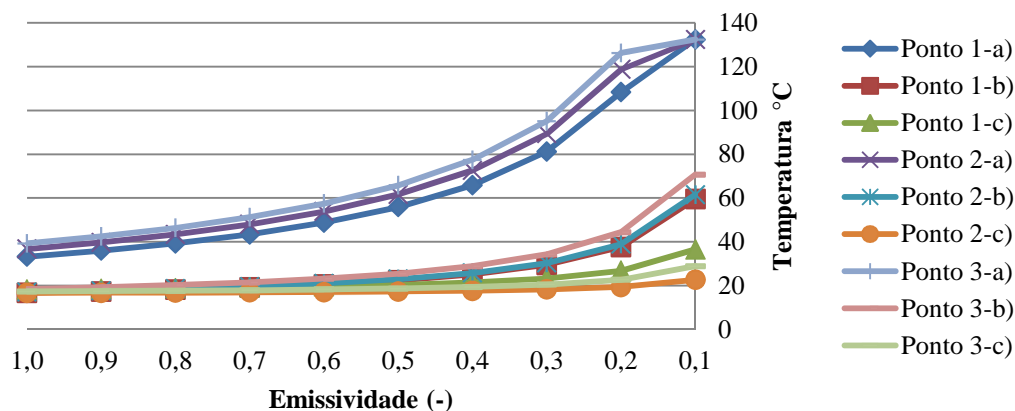


Figura A2-20: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,0 m, referente ao caso 7

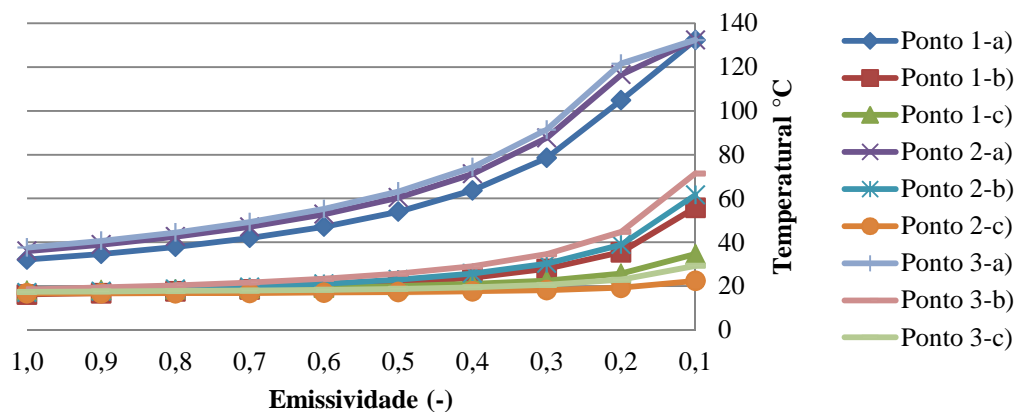


Figura A2-21: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 8,0 m, referente ao caso 7

- Caso 8

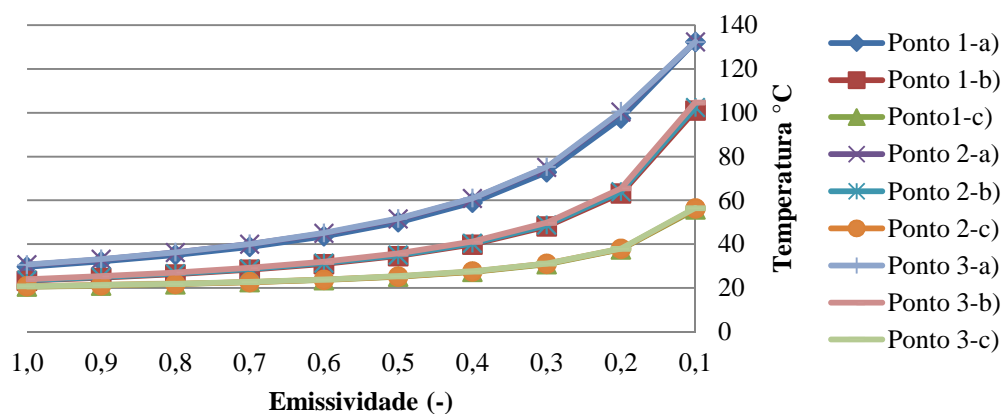


Figura A2-22: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 2,0 m, referente ao caso 8

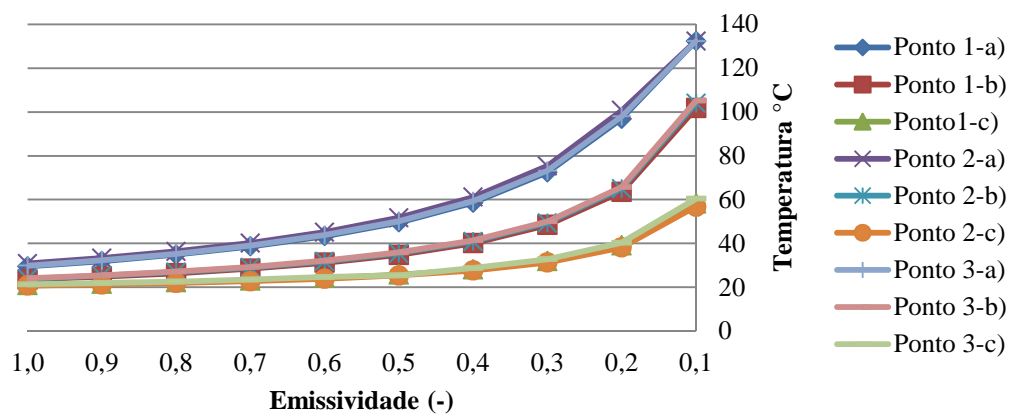


Figura A2-23: Variação da emissividade em função da temperatura, para uma distância de 8,0 m, referente ao caso 8

ANEXO 1- Câmara termográfica ThermoCAM E300



ThermaCAM® E300 CÂMERA INFRVERMELHA



A ThermoCAM® E300 possui uma resolução real integrada de 320 x 240 pixels, proporcionando quatro vezes mais resolução que outras câmeras infravermelhas do mesmo porte e preço. Além disso, a E300 é primeira câmera IV ultraportátil de baixo custo a possibilitar a obtenção de imagens detalhadas e de alto desempenho.



- Funções de pós-processamento poderosas
- Sistemas ópticos intercambiáveis
- Laser embutido LocatIR™
- Fácil de usar
- Tela LCD colorida de 2,5" de fácil visualização
- Resolução de 320 x 240 pixels com definição 4 x
- Elevada sensibilidade térmica para precisão ideal
- Totalmente portátil (0,800 kg)



A mais recente inovação da premiada família de câmeras FLIR ThermoCAM® série E

Superior qualidade de imagem

A câmera infravermelha portátil E300 possui um alto grau de resolução e qualidade de imagem superior em comparação a outras câmeras similares. A resolução de 320 x 240 pixels fornece 76.800 quadros por imagem para maior clareza de imagem destacando detalhes delicados, mesmo de alvos pequenos e complexos.

Medições de temperatura com precisão máxima

A câmera infravermelha portátil modelo E300 é a mais leve e precisa disponível no mercado atualmente. Fabricada com o melhor material detector infravermelho existente, óxido de vanádio, a E300 detecta diferenças de temperatura de até 0,10°C e fornece 76.800 pixels por imagem.

Compacta, robusta e ergonômica

O modelo E300 é altamente resistente para o trabalho em campo em todas as condições climáticas e ambientes industriais agressivos — Resistente à poeira e umidade, o modelo E300 é compatível com os padrões IP 54. Diferentemente de outras câmeras "calibradas em laboratório", o modelo E300 é resistente às temperaturas extremas ou outras condições climáticas rigorosas. Sua exclusiva tecnologia de compensação da temperatura ambiente (ATC) garante precisão sob as mais difíceis condições de temperatura ambiente.

Faça o download e documente

Faça o download de imagens térmicas com medições no seu computador sem demora com o software ThermoCAM QuickView™ e cabos em série ou USB padrão. Documente facilmente os seus achados ao introduzir imagens JPEG no programa de processamento de texto de sua preferência.

Armazenamento flexível de imagens JPEG com pós-processamento

Armazena e recupera mais de 80 imagens térmicas calibradas usando a memória interna da câmera. O formato radiométrico de imagens JPEG do modelo E300 permite acessar qualquer imagem quando quiser para incluir ou mover pontos, medir temperaturas e realizar análises que não foram feitas em campo.

Visualize imagens térmicas sensíveis

O detector microbolômetro FPA não-resfriado de última geração, que não requer manutenção, produz imagens térmicas nítidas que indicam variações sutis de temperatura e podem sinalizar problemas eletromecânicos. A E300 pode detectar problemas antes que se tornem críticos, aumentando a segurança, reduzindo o tempo de inatividade da produção e prevenindo incêndios.

Localize problemas com precisão

O laser embutido LocatIR™ projeta um ponto vermelho luminoso sobre o alvo que permite associar a imagem infravermelha ao alvo físico real. Este recurso aumenta a segurança do operário, pois elimina o manuseio de equipamentos em ambientes elétricos potencialmente perigosos.

Sistemas ópticos intercambiáveis

A câmera E300 possui as seguintes lentes opcionais: telescópica, ideal para inspecionar alvos distantes, como linhas de transmissão, e grande angular, que amplia o campo de visão para verificação de grandes objetos a uma pequena distância, como telhados e painéis elétricos.

Gerenciamento de energia inteligente

As baterias leves de lítio duráveis garantem a realização de inspeções de modo ininterrupto. O modelo E300 inclui um carregador de bateria externo duplo e um carregador de bateria interno. Um carregador com adaptador de 12 Vdc para veículos também está disponível.



A câmera localiza de forma rápida e precisa irregularidades térmicas antes que ocorram avarias, interrupções ou até mesmo incêndios.

Especificações Técnicas da **ThermaCAM® E300**

Desempenho de obtenção de imagem	
Campo de visão/distância focal mínima	Intercambiável; 23° x 17° (padrão), 14° x 10° ou 41° x 31°
Sensibilidade térmica	<0,10°C a 25°C
Tipo de detector	Microbolômetro (FPA) não-resfriado, 320 x 240 pixels
Faixa do espectro	7,5 a 13 µm
Resolução óptica (com lente de 14°)	500:1
Apresentação de imagens	
Apresentação	Visor LCD colorido de 2,5" 320 x 240 pixels em imagem IV
Controles de imagem	Palhetas (ferro, arco-íris, arco-íris HC, B/P, B/P inv), nível, faixa, auto-ajuste (contínuo/manual) e semi-automático.
Medições	
Faixas de temperatura	-20°C a +250°C (-4°F a +482°F) e 0°C a +500°C (+32°F a 932°F) Até 1.200°C (2.192°F), opcional
Precisão	±2°C (ou ±3,6°F) ou ±2% da temperatura absoluta em °C
Modos para medição	1 ponto móvel, área máxima, área mínima, área média, alarme de cor superior ou inferior
Controles de configuração	Data/hora, unidades de temperatura °C/°F, idioma (inglês, espanhol, português), escala, campo de informações, intensidade do LCD (alta/normal/baixa)
Correções de medição	Ambiente com reflexo Automático, com dados de entrada do usuário
Armazenamento de imagens	
Funções de armazenamento digital	Congelar, Armazenar, Imagens JPEG com calibragem padrão, Excluir todas imagens, Excluir imagem, Abrir
Capacidade de armazenamento de imagens	Mais de 80 imagens JPEG com galeria de imagens
Laser LocatIR™	
Classificação	Classe 2
Tipo	Laser diodo semiconductor AlGaInP: 1 mW/635 nm (vermelho)
Fonte de alimentação	
Tipo de bateria	Lítio; recarregável, substituível em campo (2)
Tempo de operação da bateria	2 horas. Visor exibe carga da bateria
Carga da bateria	Interna, adaptador CA ou 12V veicular com cabo de 12 V opcional. Carregador duplo inteligente (incluso)
Operação CA	Adaptador CA, 90–260 VAC, 25/30 Hz/12 Vdc de saída
Voltagem	11 a 16 Vdc
Economia de energia	Desligamento automático e modo de espera (selecionável pelo usuário)
Condições ambientais	
Faixa de temperatura de operação	-15°C a +50°C (5°F a 122°F)
Faixa de temperatura de armazenagem	-40°C a +70°C (-40°F a 158°F)
Umidade	Operação e armazenagem 20% a 80%, sem condensação, IEC 359
Resistente à água e poeira (encapsulação)	IP 54
Choque	25 G, IEC 68-2-29
Vibração	2 G, IEC 68-2-6
Características físicas	
Peso	0,800 kg (1,76 lb), incluindo bateria e lentes de 23°
Tamanho (Cx L x A)	272 mm x 80 mm x 105 mm (10,7" x 3,2" x 4,1") com lentes de 23°
Cor	Cinza titânio
Tripé	Padrão, 1/4"-20
Interfaces	
USB (cabo incluso)	Transferência de imagem para o computador
Saída de vídeo	NTSC, vídeo composto RCA padrão
Software	
ThermaCAM® QuickView Software (incluso), compatível com o ThermaCAM® Reporter, Microsoft® Office Suite	

ThermaCAM E300 inclui:	
Câmera infravermelha	
Estojo de transporte reforçado	
Built-in Laser LocatIR™	
Fonte e cabo de alimentação	
Alça manual	
Tampa da lente	
ThermaCAM® QuickView™ software	
Cabo USB	
Cabo de saída de vídeo	
Manual do usuário	
Bateria (2)	
2-Bay battery charger	
CD de treinamento	
Lentes intercambiáveis (opcional)	
Telescópica 2x (14° x 10° / 0,5 m)	
0,5 x grande angular (41° x 31° / 0,2 m)	



SOROCABA-SP, BRASIL: 55 15 32388070
www.flirthermography.com/brazil

Especificações sujeitas a alterações. ©Direitos autorais 2006, FLIR Systems, Inc. Todos os direitos reservados. I112405PL - PR

ANEXO 2- Humidímetro Tramex MRH III

MRH 0610

TRAMEX MRH III

THE COMPLETE MOISTURE AND HUMIDITY METER



Optional plug-in Probes to give accurate moisture readings in wood from 7 to 40%.



ASTM F 2170



NON DESTRUCTIVE
MOISTURE
DETECTOR FOR:

- WOOD
- ROOFING
- DRYWALL
- PLASTER
- BRICK

Optional plug-in Humidity Probe for Relative Humidity, Temperature, Dew-Point and Mixing Ratio readings



ASTM F 2420



www.tramexltd.com

MRH MOISTURE INSPECTION KIT

**A COMPLETE KIT FOR MOISTURE TESTING OF WOOD, DRYWALL, MASONRY, ROOFING
AND OTHER CONSTRUCTION MATERIALS WITH PLUG-IN PROBES FOR
MEASURING HUMIDITY AND WOOD MOISTURE CONTENT.**




MRH Non-destructive moisture testing mode

The MRH is a digital display version of the Tramex Moisture Encounter MEP hand-held electronic impedance moisture meter. It operates on the principle of non-destructive impedance measurement. Parallel co-planar electrodes are mounted on the base which, during operation, transmit a low-frequency signal into the material under test. To carry out moisture tests simply press the MRH firmly against the surface being tested and take a reading. There is no surface damage and the reading is immediate. The MRH has 5 different measurement scales: Wood, Roofing, Masonry, Drywall and Laminate.



HHI4TP30

WOOD MOISTURE PIN PROBE Pin-type resistance mode

PIN PROBE mode is extremely easy to use, simply select the Pin Probe using the  key on the MRH instrument. Insert either the Tramex Hand Probe or Hammer Probe directly into the socket at the top of the instrument. The pin probe gives accurate readings in 0.1% increments over the entire measurement range. Readings are displayed on the LCD of the MRH. The Pin Probe offers a most practical and accurate way of determining that wood is at the correct moisture level for its intended use, proving to be a vital tool for good quality control of wood flooring and other wood applications.



RELATIVE HUMIDITY (RH) PROBE Hygrometer mode

When the Tramex RH Probe is plugged into the MRH, it automatically changes to Hygrometer Mode. The Tramex RH Probe provides the ideal solution for Measurements of Humidity, Temperature and Dew-point in structural materials such as concrete flooring, walls etc. as well as the environmental conditions within the building or structure. Humidity readings are displayed in both percentage Relative Humidity (%RH) and mixing ratio (grains/lb or grams/kg). The solid-state capacitive sensor in the RH probe gives accurate, fast results. Allows testing of concrete slabs using the In situ (ASTM F 2170) or RH hood (ASTM 2420, BS 5325 & BS 8203) methods.



MRH TEST KIT

The standard MRH Kit comes in a carrying case with die-cut foam lining and contains the following: MRH, Hand Probe, Relative Humidity Probe, IR Surface Thermometer. (* Kit shown with optional Hammer Probe)

**THIS KIT IS OF PARTICULAR SIGNIFICANCE TO INSPECTORS,
SURVEYORS AND TECHNICAL FIELD STAFF WHO WISH TO AVOID
THE DAMAGE AND RISKS ASSOCIATED WITH EXCESS MOISTURE**

**FOR MORE INFORMATION ON THE ABOVE KIT OR ANY OF THE TRAMEX RANGE OF MOISTURE
MEASUREMENT AND DETECTION INSTRUMENTS PLEASE CALL, FAX, E-MAIL OR WRITE TO:**

U.S.A. & Canada - TRAMEX LIMITED c/o Black Hawk Sales Inc. 28 Pin Oak Drive,
Littleton, CO 80127, Tel: 303 972 7926 Fax: 303 972 7106
E-mail: sales@tramexltd.com, www.tramexltd.com

Tramex Ltd. Station House, Shankill Business Center, Shankill, Co. Dublin, Ireland.
Tel: +353-1-239 3224 Fax: +353-1-282 7880
E-mail: sales@tramex.ie www.tramex.ie



ANEXO 3- Termómetro de infravermelhos Fluke 561

Fluke 561 Multipurpose Thermometer

FLUKE®

Combined Infrared and Contact Thermometer



Fluke. Keeping your world up and running.

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA USA 98206

Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1186
5602 BD Eindhoven
The Netherlands

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853
or Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa
+31 (0)40 2 675 200
or Fax +31 (0)40 2 675 222
In Canada (905) 890-7600
or Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446-5500
or Fax +1 (425) 446-5116

Visit us on the worldwide web at:
www.fluke.com

Fluke (UK) Ltd.
52 Hurricane Way
Norwich
Norfolk
NR6 6JB
United Kingdom
Tel.: (020) 7942 0700
Fax: (020) 7942 0701
E-mail: industrial@uk.fluke.nl

Visit us on the worldwide web at:
www.fluke.co.uk

© Copyright 2006, Fluke Corporation. All rights reserved.
Printed in the Netherlands 04/06
Data subject to alteration without notice.

Pub ID: 11086-eng

Fluke 561 Multipurpose Thermometer

FLUKE®



Fluke 561 Thermometer



The Fluke 561 includes everything you need for immediate inspections.

Combined Infrared and Contact Thermometer

The easy-to-use Fluke 561 combines the temperature measurement functions that professionals need for various heating, ventilation and air conditioning monitoring jobs, all in one tool. It provides both non-contact infrared (IR) and contact temperature measurements, replacing the need for multiple test tools. Use the IR thermometer to measure hot, moving, electrically energized and hard-to-reach objects instantly without the need for a ladder or having to shut down equipment. Use the unit's Velcro pipe probe for easy contact measurements, or plug in any industry-standard K-type mini-connector thermocouple you already have.

- IR thermometer for quick measurements up close or at a distance
- Single-point laser sighting
- Easy emissivity adjustment for measuring pipes and ducts more accurately
- Includes a Velcro pipe probe for super-heat and sub-cooling as well as other surface contact measurements
- Also compatible with all standard mini-connector K-type thermocouples
- MIN, MAX and DIF temperature readings
- Lightweight (only 340 grams) and portable
- Includes measurement guide

Specifications

Temperature range	-40° to 550°C
Display resolution	0.1° of reading
D:S (Distance to spot size)	12:1
Easy emissivity selector	Adjustable with three settings: low (0.3), medium (0.7), high (0.95)
Display accuracy (Assumes ambient operating temperature of 23° to 25°C)	± 1.0% of reading or ± 1°C, whichever is greater; below 0°C, ± 1°C, ± 1°F
Response time	500 mSec (95% of reading)
Repeatability	± 0.5% of reading or ± 1°C, whichever is greater
Spectral focus	8 µm to 14 µm
Laser sighting	Single-point laser
Laser shutoff	Laser turns off above ambient temperature of 40°C
Laser power	Class 2 (II) operation; output < 1 mW, wavelength 630 nm to 670 nm
Relative humidity	10% to 90% RH non-condensing, at < 30°C
Power	2 AA batteries (alkaline or NiCD)
Display hold	7 seconds
Backlit display	Yes, LCD with dual temperatures (current and MAX/MIN/DIF/KTC), low battery, I/C indicator, and Scan/Hold options
Operating temperature	0° to 50°C
Storage temperature	-20 to 65°C
MAX, MIN, DIF temperatures	Yes
Thermocouple type K mini-adapter input	Yes, compatible with industry standard type K probes with mini-connector
Thermocouple type K Velcro pipe probe	Yes, with a temperature range of 0° to 100°C and accuracy of ± 2.2°C
Measurement guide	Yes

Battery Life (alkaline): 12 hours

Size (HxLxW): 176.9 mm x 163.6 mm x 518 mm

Weight: 340 grams

Two years warranty

Optional accessories

Model	Features
H6 Infrared Thermometer Holster	<ul style="list-style-type: none"> • Snap-on loop attaches to belt • Velcro closures for quick access and secure storage
80PK-1 Bead Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for general-purpose applications • Measurement range: -40° to 260°C
80PK-3A Surface Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for flat or curved surfaces such as plates and rollers • Measurement range: 0° to 260°C
80PK-EXT Extension Wire Kits	<ul style="list-style-type: none"> • Extending and repairing type-K thermocouple wires • Maximum continuous exposure temperature: 260°C • Compatible with type-K thermocouples
80CK-M type K Male Mini-Connectors	<ul style="list-style-type: none"> • Isothermal screw terminal for K wire • Suitable for up to 20 gauge thermocouple wire
80PK-6 Pipe Clamp Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for fast temperature and superheat measurements of pipe surfaces • Measurement range: -29° to 149°C for pipe diameters from 6.4 mm to 34.9 mm
80PK-22 SureGrip Immersion Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for use in liquids and gels • Measurement range: -40° to 1050°C
80PK-24 SureGrip Air Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for use in air and non-caustic gas measurements • Measurement range: -40° to 816°C
80PK-25 SureGrip Piercing Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple suitable for food industry, liquids and gels • Measurement range: -40° to 350°C
80PK-26 SureGrip Tapered Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple with tapered tip for use in air, non-caustic gas and surface applications • Measurement range: -40° to 816°C
80PK-27 SureGrip Industrial Surface Temperature Probe	<ul style="list-style-type: none"> • Type-K thermocouple for surfaces in rugged environment • Measurement range: -127° to 600°C

Included accessories

Thermocouple K-type Velcro pipe probe, hand carrying case, 2 AA batteries and user manual with measurement guide.

Ordering information

Fluke 561 HVACPro Thermometer

ANEXO 4- Data logger's PICO TC-08

- **Data logger TC-08 com interface RS232**

6

TC-08 User's Guide

2 Product information

2.1 Specifications

Thermocouple types	B,E,J,K,N,R,S,T	
Voltage mode (type X)	±60 mV	
Number of input channels	8	
	Version 1	Version 2
Conversion time -per active channel	800 ms	200 ms
Conversion time-cold junction compensation	1500 ms	200 ms
Cold junction compensation	done by driver	
Uncalibrated accuracy	the sum of ±0.3% and ±0.5°C	
Common mode range	±5 V	
Overvoltage protection	±10 V	
Input impedance	2 megaohm	
Input connectors	8 x miniature thermocouple	
Output connector	D9 female to computer serial port	
Power requirements	No power supply required	
Environmental conditions	0 to 50 °C 0 to 95% humidity NOT water-resistant	

The resolution and accuracy depend upon the thermocouple type and the temperature range. The following table shows the overall range that each thermocouple type is calibrated for, and the ranges over which resolutions of 0.1 °C and 0.025 °C can be achieved. Actual resolution is typically better than these figures at higher temperatures.

Thermocouple type	0.1 °C Resolution	Overall Range (°C)	0.025 °C Resolution
B	1030..1800	100..1800	-
E	-240..790	-270..790	-140..790
J	-210..1050	-210..1050	-120..1050
K	-220..1370	270..1370	-20..1150
N	-210..1300	-260..1300	340..1260
R	-333..1760	-50..1760	-
S	250..1760	-50..1760	-
T	-230..400	-270..400	-

The TC-08 can also be used to measure voltages by specifying type X, and the channel can then be used as a differential input with a voltage range of ±60 mV.

- **Data logger TC-08 com interface USB**



TC-08

THERMOCOUPLE DATA LOGGER

LOW COST, HIGH RESOLUTION

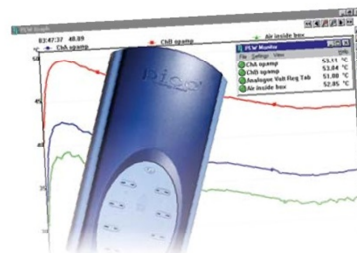
- Measures and records up to 8 thermocouples
- Works with all popular thermocouple types
- Wide temperature range (-270°C to $+1820^{\circ}\text{C}$)
- Built in cold junction compensation
- High resolution (20 bits) and high accuracy
- Up to 10 measurements per second
- No power supply required
- Supplied with PicoLog data logging software
- USB interface ensures problem-free installation
- Multiple units can be run on a single PC



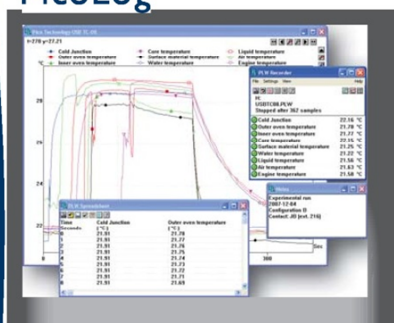
www.picotech.com

TC-08 THERMOCOUPLE DATA LOGGER

The TC-08 thermocouple data logger offers industry-leading performance and a cost-effective temperature measurement solution. With 8 direct thermocouple inputs, the TC-08 can take accurate, rapid readings. In addition, up to 20 units can be used simultaneously on one PC. The logger can measure and record temperatures ranging from -270°C to $+1820^{\circ}\text{C}$ using the appropriate thermocouple type (B,E,J,K,N,R,S,T). It draws power from the USB port, so no external power supply is needed.



PicoLog



In addition to the monitor view, PicoLog can also display a graph, a spreadsheet and user notes. It can display them all at once, as shown here, or individually in any combination.

PicoLog is a powerful but flexible data acquisition program designed for collecting, analyzing and displaying data over long or short periods of time. Data can be viewed both during and after data collection in spreadsheet or graphical format. If required, the data can also be easily exported to other applications.

SOFTWARE DRIVERS

For users who wish to write their own software or use our products with third party software, we provide, free of charge, a range of software drivers and examples. Drivers are included for Windows XP (SP2), Vista and Windows 7 (32 and 64 bit). Programming examples are supplied for C, Delphi and Visual Basic, LabVIEW, Agilent VEE 6.1 and Excel.

THERMOCOUPLES

Pico Technology offers both off the shelf and built to order thermocouples for use with our data logging products. The TC-08 is compatible with all popular thermocouples offering high accuracy without compromising acquisition speed. Thermocouple types and temperature ranges are shown in the table below.

Type	Overall Range $^{\circ}\text{C}$	0.1°C Resolution	0.025°C Resolution
B	20 to 1820	150 to 1820	600 to 1820
E	-270 to 910	-270 to 910	-260 to 910
J	-210 to 1200	-210 to 1200	-210 to 1200
K	-270 to 1370	-270 to 1370	-250 to 1370
N	-270 to 1300	-260 to 1300	-230 to 1300
R	-50 to 1760	-50 to 1760	20 to 1760
S	-50 to 1760	-50 to 1760	20 to 1760
T	-270 to 400	-270 to 400	-250 to 400

TC-08 SPECIFICATIONS

Number of channels	8
Temperature accuracy	The sum of $\pm 0.2\%$ and $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Voltage accuracy	The sum of $\pm 0.2\%$ and $\pm 10\ \mu\text{V}$
Overload protection	$\pm 30\ \text{V}$
Voltage input	$\pm 70\ \text{mV}$
Reading rate	Up to 10 per second
Input connectors	Miniature thermocouple
PC connection	USB
Dimensions	201 x 104 x 34 mm

ORDER CODES and PRICES

ORDER CODE	DESCRIPTION	£	\$*	€*
PP222	TC-08	249	411	302
PP624	Terminal Board	18	30	22

* US dollar and euro prices are subject to exchange rate variations.
For latest prices see our website or contact us at the address below.



The PP624 is an optional terminal board for the TC-08. The screw terminals allow wires to be attached to the data logger without soldering and enable the TC-08 to measure voltages from 0 to +5 V, or 4-20 mA loop current.